

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIO DE PAULA SOARES FILHO

**ANATRO UFPR – *SOFTWARE* PARA ANÁLISE DE TRONCO, EM MEIO DIGITAL,
UTILIZANDO SISTEMA POLAR**

CURITIBA
2014

MARIO DE PAULA SOARES FILHO

**ANATRO UFPR – SOFTWARE PARA ANÁLISE DE TRONCO, EM MEIO DIGITAL,
UTILIZANDO SISTEMA POLAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

Coorientadores: Prof. Dr. Dartagnan Baggio
Emerenciano
Prof. Dr. Nelson Yoshihiro
Nakajima

CURITIBA
2014

S676 Soares Filho, Mário de Paula
ANATRO UFPR – software para análise de tronco, em meio digital,
utilizando sistema polar / Mário de Paula Soares Filho. - Curitiba,
2015.
122 f.: il., tabs, grafs.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot
Co-orientadores: Prof. Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano
Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal.

1. Software – Desenvolvimento. 2. Processamento digital de
imagens. 3. Anéis de crescimento. I. Emerenciano, Dartagnan Baggio
II. Rosot, Nelson Carlos. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 621.367



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 1069

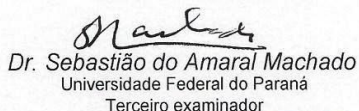
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Mario de Paula Soares Filho* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**ANATRO UFPR - SOFTWARE PARA ANÁLISE DE TRONCO, EM MEIO DIGITAL, UTILIZANDO SISTEMA POLAR**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

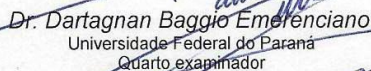

Dr. Maria Augusta Doetzer Rosot

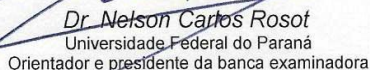
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
Primeiro examinador


Dr. Lucas Ferrari de Oliveira

Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

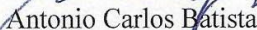

Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Nelson Carlos Rosot
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 03 de dezembro de 2014.


Antonio Carlos Batista

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

À Sandramara, minha amada esposa, e
às minhas filhas Débora, Raquel, Ana
Harumi e Mariana Mayumi.

Ao meu pai Mario de Paula Soares (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Nelson Carlos Rosot, pela orientação, apoio, confiança, amizade e um grande exemplo de vida profissional.

Ao professor Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano, um homem sempre à frente do seu tempo, pela ideia desta pesquisa, amizade e confiança nestes anos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade e acolhimento.

Aos docentes das disciplinas do Programa por estarem sempre disponíveis para esclarecer as dúvidas, em quaisquer horários e pelo apoio ao trabalho.

Ao Diretor do Setor de Educação Profissional e Tecnológica da UFPR – SEPT, o professor Luiz Antonio Passos Cardoso, pela amizade de longos anos e apoio dado.

Aos colegas de colegiado do Curso de Tecnologia em Análise de Sistemas da UFPR, pelo apoio, colaboração, e por assumirem encargos didáticos para que eu realizasse este trabalho.

À Pró-Reitora da PROPLAN, Professora. Dr^a. Lúcia Regina Assumpção Montanhini, pelo incentivo e amizade.

RESUMO

O presente trabalho de tese teve como objetivo principal desenvolver *software* para análise de tronco, visando descrever o crescimento de uma árvore, por meio de processamento digital de imagens de secções transversais de tronco, utilizando sistema polar, denominado de ANATRO UFPR. O *software* foi concebido utilizando-se três espaços de trabalho – estes conceituados como uma imagem da seção transversal do fuste e funcionalidades para o tratamento desta: espaço cartesiano, espaço polar e espaço cartesiano reconstituído. No espaço cartesiano são definidos o fator de escala da imagem (*pixel/mm*) e as coordenadas do centro da medula e da posição relativa do norte. No espaço polar, onde a imagem foi transformada para este sistema, são identificados os anéis de crescimento visualmente pelo operador com o auxílio, opcional, de método de reconhecimento semiautomático dos anéis de crescimento utilizando-se técnicas de filtragem e detecção de bordas. No espaço cartesiano reconstituído são calculadas as áreas transversais dos anéis de crescimento por contagem de *pixels*. Para a obtenção da área transversal, foram implementados os seguintes métodos: medição ao longo de quatro raios, medição ao longo de oito raios, medição ao longo de múltiplos raios e vetorização. O *software* gera como saída de dados o perfil longitudinal da árvore e tabela contendo diversas variáveis dendrométricas, por idade. Quando conhecida a frequência de árvores por hectare, o *software* produz também a tabela de produção do povoamento.

Resultados: Os volumes obtidos por vetorização dos anéis de árvore de *Pinus elliottii*, com idade de 17 anos, pelo ANATRO UFPR, foram, em média, 0,50% menores, quando comparados com os obtidos com o software ArcGIS®, devido a diferenças na medição do fator de escala e localização das bordas dos anéis. Na comparação dos volumes anuais de madeira verde e madeira seca, de árvore de *Pinus taeda*, com nove anos de idade, o número de anéis identificados foi igual em ambos os casos; os volumes anuais de madeira verde foram, em média, 7,91% maior que os volumes da madeira seca para as mesmas idades, valor este compatível com a contração da madeira. Utilizando-se imagens de secções transversais de fuste recém-cortado de *Araucaria angustifolia*, com oito anos de idade, foi possível a identificação de anéis de crescimento compatíveis com a idade, bem como a geração de perfil longitudinal e gráficos de ICA e IMA. **Conclusão:** A nova técnica de processamento digital de imagens para ANATRO, utilizando sistema polar, é factível. Sob o ponto de vista prático, tem-se a grande vantagem da obtenção de dados de crescimento diametral diretamente no campo, sem a necessidade do transporte dos discos para o laboratório para proceder a secagem, lixamento e medições, consequentemente, com redução de custos e tempo para a obtenção da tabela de produção.

Palavras-chave: processamento digital de imagens. anéis de crescimento.

ABSTRACT

This thesis aimed to develop software for stem analysis to describe the growth of a tree, through digital image processing of cross-sections of trunk, using polar system, called ANATRO UFPR. The software has been designed using three workspaces - these conceptualized as an image of the cross section of the stem and functionalities for digital processing: cartesian space, polar space and reconstituted cartesian space. The coordinates of the center of medulla, the north and the scale factor are defined in cartesian space. In the polar space, where the image was transformed into this system, the growth rings are visually identified by the operator, with optional use of the semiautomatic tree rings segmentation. In the reconstituted cartesian space are calculated cross-sectional areas of growth rings by *pixels* count. To define the cross-sectional area, four methods are implemented: measurement over four rays, measurement over eight rays, measurement along multiple rays and full vectorization. The software generates as output data, the longitudinal profile of the tree and table containing dendrometric variables by age. **Results:** The volumes obtained by tree rings vectorization of *Pinus elliottii*, aged 17, at ANATRO UFPR, were 0.50% lower when compared with those obtained with the ArcGIS® software, due to differences in measuring the scale factor and position the edges of the rings. Comparing the annual volumes of green wood and dry wood of *Pinus taeda*, with nine years of age, the number of identified rings was the same in both cases; the annual volumes of green wood were on average 7.91% higher than the volumes of dry wood to the same age, a figure consistent with the contraction of the wood. Using images of cross sections of freshly cut stem of *Araucaria angustifolia*, eight years, the number of tree rings identification was compatible with age; the generation of longitudinal profile and ICA and IMA graphics was possible. **Conclusion:** The new digital image processing technique, for stem analysis, using polar system, is feasible. From a practical point of view, it has the great advantage of obtaining diametrical growth data directly in the field, without the need of transporting the discs to a laboratory to drying, grinding and tree rings measurement, consequently, reducing cost and time for obtaining the volume tables.

Keywords: digital image processing. growth rings. Stem analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1-	PERFIL LONGITUDINAL DE UMA ÁRVORE	31
FIGURA 2-	DIAGRAMA DO MÉTODO DO PARALELISMO PARA INTERPOLAÇÃO DA ALTURA DO TÉRMINO DO ANEL – PROPOSTO POR BARUSSO	31
FIGURA 3 -	UM SISTEMA DE VISÃO ARTIFICIAL (SVA) E SUAS PRINCIPAIS ETAPAS.....	34
FIGURA 4-	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DE DADOS	43
FIGURA 5 -	MARCAÇÃO DO DAP E DA DIREÇÃO NORTE NO FUSTE DA ÁRVORE	43
FIGURA 6-	TÉCNICA PADRÃO DE CORTE.....	44
FIGURA 7-	PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS	46
FIGURA 8-	FOTOGRAFIA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO.....	47
FIGURA 9-	FATIAS ORGANIZADAS PARA SECAGEM.....	48
FIGURA 10-	IMAGEM NO ESPAÇO CARTESIANO	51
FIGURA 11-	MODELO ESQUEMÁTICO DA TRANSPOSIÇÃO DA FIGURA DA IMAGEM 10 PARA O SISTEMA POLAR	51
FIGURA 12-	ROTULAGEM DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	54
FIGURA 13-	IMAGEM PARCIAL DO LENHO DE <i>Pinus taeda</i> AMPLIADA.....	58
FIGURA 14-	DIAGRAMA DE CLASSES SIMPLIFICADO DO ANATRO UFPR ...	65
FIGURA 15-	DIAGRAMA ENTIDADE RELACIONAMENTO DO <i>SOFTWARE</i> ANATRO UFPR	66
FIGURA 16 -	IMAGEM DESFOCADA DE SEÇÃO TRANSVERSAL CAPTURADA POR SMARTFONE COM ZOOM DIGITAL.....	69
FIGURA 17-	IMAGEM DE UMA FATIA, NA ALTURA 0,0m, COLOCADA INADEQUADAMENTE NA PLATAFORMA.....	70
FIGURA 18-	IMAGEM ORIGINAL (a) E IMAGEM CORRIGIDA AUTOMATICAMENTE (b) E CORTADA, EXCLUINDO-SE AS ÁREAS NÃO ÚTEIS AO PROCESSAMENTO.....	72
FIGURA 19-	TELA PRINCIPAL DO SISTEMA	73
FIGURA 20 -	TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA PROJETO.....	74

FIGURA 21-	TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA LOCALIZAÇÃO	74
FIGURA 22-	TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA DADOS DO POVOAMENTO	75
FIGURA 23-	TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA DADOS DA ÁRVORE	75
FIGURA 24-	FORMULÁRIO PARA VINCULAR UMA IMAGEM AO PROJETO ATIVO.	76
FIGURA 25-	FORMULÁRIO DO ESPAÇO CARTESIANO COM FATIA DE <i>Pinus taeda</i> , MADEIRA VERDE, EXTRAÍDA A 7,60m COM MAGNIFICAÇÃO DE 19%	77
FIGURA 26 -	IMAGENS DE <i>Pinus taeda</i> , MADEIRA VERDE, EXTRAÍDA A 7,60m.	78
FIGURA 27-	FORMULÁRIO DO ESPAÇO CARTESIANO, COM A FUNCIONALIDADE DE DEFINIÇÃO DO CÁLCULO DO FATOR DE ESCALA.....	78
FIGURA 28 -	FORMULÁRIO COM IMAGEM DE FATIA DE <i>Pinus taeda</i> , EXTRAÍDA A 7,60m, MADEIRA VERDE, TRANSFORMADA PARA O SISTEMA POLAR, MÉTODO MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS.....	80
FIGURA 29–	IMAGEM PARCIAL NO ESPAÇO POLAR DOS PONTOS REFERENTES AOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO MÉTODO DE MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS.	81
FIGURA 30 -	LOCALIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO AO LONGO DO MAIOR RAIOS (a); PARTE DE ANEL DE CRESCIMENTO COM OS PONTOS DE VETORIZAÇÃO E RESPECTIVA LINHA AJUSTADA (b).....	82
FIGURA 31 -	IMAGEM ORIGINAL (a), IMAGEM PROCESSADA COM FILTRO DE MEDIANA 5X5, DUAS PASSAGENS (b) E DETECÇÃO DE BORDAS (c).....	82
FIGURA 32-	CAMADA COM OS POLÍGONOS REFERENTES AOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	83

FIGURA 33-	IMAGEM DE <i>Pinus taeda</i> , NO ESPAÇO CARTESIANO RECONSTITUÍDO, MÉTODO DE MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS.....	84
FIGURA 34 -	PLANILHA AUXILIAR PARA VERIFICAÇÃO DO CÁLCULO DAS ÁREAS TRANSVERSAIS	85
FIGURA 35-	ANATROGRÁFICO DO PERFIL LONGITUDINAL DO FUSTE DE UMA ÁRVORE, COM REALCE DAS MEDIÇÕES MÉDIAS DOS RAIOS AO DAP.	86
FIGURA 36 -	PLANILHA CONTENDO AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS POR IDADE DE UMA ÁRVORE.....	87
FIGURA 37-	UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR PARA PROCESSAMENTO COM DOIS MONITORES.....	88
FIGURA 38 -	PERFIL LONGITUDINAL DE <i>Pinus elliottii</i> POR VETORIZAÇÃO COMPLETA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ArcGIS® (A) E O GERADO PELO ANATRO UFPR (B).....	93
FIGURA 39-	IMAGENS VETORIZADAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE FATIA DE <i>Pinus taeda</i> , ALTURA DE CORTE 0 m, SECA E LIXADA, MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS (a), MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS (b) E VETORIZAÇÃO MANUAL (c).....	94
FIGURA 40-	IMAGENS VETORIZADAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE FATIA DE <i>Pinus taeda</i> , À ALTURA DE 10,80 m, SECA E LIXADA, MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS (a), MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS (b) E VETORIZAÇÃO MANUAL (C).	96
GRÁFICO 1-	DESVIOS PERCENTUAIS RELATIVOS ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA PARA <i>Pinus taeda</i> , MADEIRA SECA E LIXADA.....	97
GRÁFICO 2-	DESVIOS PERCENTUAIS RELATIVOS ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA PARA <i>Pinus taeda</i> , MADEIRA SECA E LIXADA.....	97
GRÁFICO 3-	CURVA DE DIFERENÇA ABSOLUTA PERCENTUAL DOS VOLUMES DA MADEIRA SECA EM RELAÇÃO À MADEIRA VERDE.....	100

FIGURA 41-	PERFIS DE ÁRVORE GERADOS PELO ANATRO UFPR DA MADEIRA SECA (a) E MADEIRA VERDE (b)	101
GRÁFICO 4-	DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE OS DIÂMETROS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO - RELAÇÃO MADEIRA VERDE/MADEIRA SECA.....	101
GRÁFICO 5-	INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA_v) E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA_v) EM VOLUME DE MADEIRA VERDE E MADEIRA SECA DE UMA ÁRVORE DE <i>Pinus taeda</i>	102
FIGURA 42-	FOTOGRAFIA DE SECÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO RECÉM CORTADA DE <i>Araucaria angustifolia</i> , À ALTURA DO DAP	103
FIGURA 43-	PERFIL LONGITUDINAL DO FUSTE DE <i>Araucaria angustifolia</i> – RÁDIO MÉDIO (cm)	103
GRÁFICO 6-	CURVA DE ICA E IMA DE ÁRVORE DE <i>Araucaria angustifolia</i> . ..	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS CALCULADAS EM CÍRCULOS DEFINIDOS POR RAIOS EM <i>PIXELS</i>	89
TABELA 2 -	CLASSE DE RAIOS EM <i>PIXELS</i> E RESPECTIVAS MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E ERROS PADRÃO DOS ERROS PERCENTUAIS DA ÁREA POR CONTAGEM DE <i>PIXELS</i> EM RELAÇÃO À ÁREA REAL	90
TABELA 3 -	ESCALA EM <i>pixel/mm</i> DAS IMAGENS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, POR ALTURA, DA MADEIRA VERDE E DA MADEIRA SECA DE <i>Pinus taeda</i>	90
TABELA 4 -	RAIOS (cm) E ÁREAS (cm ²) DE DOIS CIRCULOS PARA DIFERENTES FATORES DE ESCALA (<i>pixel/mm</i>).....	91
TABELA 5 -	VOLUMES (m ³) OBTIDOS POR VETORIZAÇÃO COMPLETA EM ArcGIS® E ANATRO UFPR, E RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS RELATIVAS.....	92
TABELA 6 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CÁLCULO VOLUMÉTRICO ENTRE ArcGIS® E ANATRO UFPR.....	93
TABELA 7-	ÁREA (mm ²) DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, de <i>Pinus taeda</i> , ALTURA DE CORTE 0,0 m, OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA, COM RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS EM RELAÇÃO AO MÉTODO DE VETORIZAÇÃO.....	95
TABELA 8 -	ÁREA (mm ²) DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, EM FATIA DE <i>Pinus taeda</i> , À ALTURA DE 10,80m, OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA, COM RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS EM RELAÇÃO AO MÉTODO DE VETORIZAÇÃO.....	96

TABELA 9-	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS DIFERENÇAS RELATIVAS PERCENTUAIS, DOS RAIOS MÉDIOS (mm) OBTIDOS PELA ÁREA TRANSVERSAL, ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS EM RELAÇÃO À VETORIZAÇÃO.....	98
TABELA 10 -	TABELA DE PRODUÇÃO GERADA PELO ANATRO UFPR REFERENTE A MADEIRA VERDE VETORIZADA	99
TABELA 11 -	TABELA DE PRODUÇÃO GERADA PELO ANATRO UFPR REFERENTE A MADEIRA SECA VETORIZADA	99
TABELA 12 -	VOLUMES POR IDADES ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DO ANATRO UFPR	100
TABELA 13 -	TABELA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE <i>Araucaria</i> <i>angustifolia</i> – MADEIRA VERDE, COM OITO ANOS DE IDADE. .	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATRO	- Análise de tronco completa
ANOVA	- Análise de variância
BMP	- <i>Bitmap image</i>
CAD	- <i>Computer-Aided Design</i>
CCD	- <i>Charge Coupled Device</i>
CIF	- Classe de identificação do Fuste
CMOS	- <i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>
CRT	- <i>Cathode Ray Tube</i>
CSV	- <i>Comma Separated Values</i>
CTI	- <i>Computer Telephony Integration</i>
DAP	- Diâmetro à Altura do Peito - 1,3 m
dpi	- <i>dots per inch</i>
DSC	- <i>Digital Still Camera</i>
DXF	- <i>Drawing eXchange File</i>
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FF	- Fator de Forma comum
FFH	- Fator de Forma de Hohenadl ou real
GLGLM	- <i>Grey Level Gap Length Matrix</i>
IC	- Iluminação da Copa
ICA	- Incremento Corrente Anual
IMA	- Incremento Médio Anual
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISC	- <i>Internal Scan Format</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
JPG	- <i>Joint Photographic Experts Group</i>
LCD	- <i>Liquid Crystal Display</i>
MB	- <i>Megabyte</i>
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MPx	- <i>Mega pixel</i>
MVC	- <i>Model View Control</i>

OLED	- <i>Organic Light-Emitting Diode</i>
PDM	- Ponto de Medição do Diâmetro
PIB	- Produto Interno Bruto
RAM	- <i>Random Access Memory</i>
RGB	- <i>Red Green Blue</i>
SIGs	- Sistemas de Informações Geográficas
SIMEPAR	- Sistema Meteorológico do Paraná
SPRING	- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SVA	- Sistemas de Visão Artificial
TFT	- <i>Thin-film transistor</i>
TIFF	- <i>Tagged Image File Format</i>
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
UML	- <i>Unified Modified Language</i>
WEB	- <i>World Wide Web</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVO GERAL	20
1.1.1 Objetivos específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 CRESCIMENTO	22
2.2 ANÉIS DE CRESCIMENTO	23
2.2.1 Anatomia dos anéis de crescimento	24
2.2.2 Falsos anéis de crescimento	26
2.3 ANÁLISE DE TRONCO (ANATRO)	26
2.3.1. O método ANATRO Tradicional	27
2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	32
2.4.1 Sistema de Processamento de Imagens	32
2.4.1.1 Aquisição	32
2.4.1.2 Armazenamento	33
2.4.1.3 Processamento	33
2.4.1.4 Exibição	33
2.4.2 Sistemas de Visão Artificial (SVA)	34
2.4.2.1 Domínio do problema e resultado	34
2.4.2.2 Aquisição da imagem	34
2.4.2.3 Pré-processamento	35
2.4.2.4 Segmentação	36
2.4.2.5 Extração de características	36
2.4.2.6 Reconhecimento e interpretação	37

2.4.2.7 Base de Conhecimento.	37
2.5 ANATRO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 MATERIAL	42
3.1.1 Origem dos dados para a comparação de ANATRO de madeira verde X madeira seca, de <i>Pinus taeda</i>	42
3.1.2 Procedimentos para coleta de dados no campo	43
3.1.3 Procedimentos para aquisição das imagens	45
3.2 CADASTRO DE PROJETOS E IMAGENS	48
3.3 ESPAÇO DE TRABALHO	50
3.3.1 Espaço Cartesiano	50
3.3.2 Espaço Polar	50
3.3.3 Espaço Cartesiano Reconstituído	52
3.4 FUNCIONALIDADES	53
3.4.1 Método para definição do fator de escala.....	53
3.4.2 Rotulagem dos anéis de crescimento.....	54
3.4.3 Métodos de geração de polígonos	54
3.4.3.1 Medição ao longo de quatro raios	55
3.4.3.2 Medição ao longo de oito raios.....	56
3.4.3.3 Múltiplos Raios	57
3.4.3.4 Vetorização	57
3.4.3.5 Método semi-automatizado	57
3.4.4 Cálculo da área transversal (g)	58
3.4.5 ANATROGráfico.....	60
3.4.6 Planilha de variáveis dendrométricas.....	60
3.5 DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i>	63

3.5.1 Linguagem de Programação	63
3.5.2 Biblioteca gráfica	63
3.5.3 Metodologia Multicamadas.....	64
3.5.3.1 Camada controladora	64
3.5.3.1.1 Classe Projeto	65
3.5.3.1.2 Classe Imagem	65
3.5.3.1.3 Classe Imagem_anéis	65
3.5.3.2 Camada Modelo de Dados.....	66
3.5.3.3 Camada interface	66
3.6 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA	68
3.7 UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR EM OUTRAS ESPÉCIES	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS NO CAMPO	69
4.2 PROCESSAMENTO DIGITAL VIA ANATRO UFPR	71
4.2.1 Pré-processamento digital.....	71
4.2.2 Cadastramento de Projetos.....	72
4.2.3 Vinculação de Imagens	76
4.2.4 Espaços de Trabalho.....	76
4.2.4.1 Espaço Cartesiano	76
4.2.4.2 Espaço Polar	79
4.2.4.2.1 Reconhecimento visual dos anéis de crescimento com vetorização manual	80
4.2.4.2.2 Reconhecimento semi-automatizado dos anéis de crescimento	82
4.2.4.3 Espaço Cartesiano Reconstituído	83
4.2.4.3.1 Planilha de cálculo de área transversal	84
4.2.5 ANATROGráfico.....	85

4.2.6 Planilha de variáveis dendrométricas do projeto	87
4.2.7 Ambiente de Trabalho computacional	87
4.3 VALIDAÇÃO DO CÁLCULO DA ÁREA TRANSVERSAL POR MEIO DA CONTAGEM DE <i>PIXELS</i>	88
4.4 COMPARAÇÃO ANATRO UFPR x VETORIZAÇÃO EM SIG	92
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE ÁREA TRANSVERSAL.....	94
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE MADEIRA VERDE E MADEIRA SECA	98
4.7 UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR PARA OUTRAS ESPÉCIES	102
5 CONCLUSÕES	106
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICES	114
ANEXO	119

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é um dos mais desenvolvidos e competitivos do mundo. São 7,6 milhões de hectares cultivados – 92,7% de eucaliptos e pinus, sendo 2,2 milhões de hectares destinados à produção de 100% do papel e celulose produzidos no país, respondendo, em 2014, por 1,2% do PIB Brasileiro (IBÁ, 2014). Esta competitividade, aliada a um manejo sustentável, é decorrente da criação de cursos superiores de engenharia florestal nos últimos 50 anos no Brasil, que começaram a formar profissionais especializados e, ao mesmo tempo, oportunizaram o desenvolvimento de pesquisas na área.

O conhecimento das características de crescimento de uma espécie e sua interação com o meio é um dos fatores fundamentais para o manejo florestal sustentável, este conceituado como a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema (MMA, 2014).

Uma das técnicas mais eficazes para estudar o crescimento passado de uma árvore é a Análise de Tronco - ANATRO, em que se avalia seu crescimento e sua interação com o meio, pela medição dos anéis de crescimento.

A ANATRO é um processo que demanda várias horas de trabalho especializado. Consiste basicamente na derrubada de uma árvore, com a extração de fatias em determinadas alturas e sua posterior remoção para um laboratório, onde são secadas e lixadas. Em seguida, para cada fatia, são identificados os anéis de crescimento ao longo de raios pré-definidos e medidas as distâncias do limite de cada anel em relação ao centro da medula. A partir daí, são efetuados os cálculos para a obtenção de variáveis dendrométricas como diâmetro, área transversal, volume, fator de forma, etc.

Visando diminuir o tempo gasto na medição dos anéis e aumentar a acurácia, vários métodos foram desenvolvidos, entre eles a utilização do processamento digital de imagens das secções transversais do tronco.

Existem atualmente vários *softwares* que auxiliam na Análise de Tronco, como o canadense WinDENDRO™ da Regent Instruments Inc., o LignoVision™, desenvolvido pela empresa alemã RINNTECH® e o Anatro Livre® da EMBRAPA. Cada um, ao seu modo, oferece a possibilidade de redução do tempo pelo processamento digital de imagens das fatias do tronco.

A presente pesquisa tem como hipóteses de trabalho as seguintes assertivas:

- a) a utilização de um sistema polar permite o cálculo da área transversal dos anéis de crescimento;
- b) é exequível a análise de tronco por meio de imagens de seções transversais de tronco da madeira verde ou recém-cortada, sem a necessidade de levá-las ao laboratório para secagem;
- c) é exequível a obtenção da área por contagem de *pixels* contidos em um polígono com a acurácia adequada à ANATRO.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um *software* para Análise de Tronco por meio do processamento digital de imagens de seções transversais do tronco utilizando sistema polar.

1.1.1 Objetivos específicos

São os seguintes os objetivos específicos desta pesquisa:

- a) estabelecer uma metodologia para aquisição de imagens digitais em campo de seções transversais de fuste para ANATRO;
- b) projetar e implementar módulo de *software*, utilizando sistema polar, para cálculo da área transversal utilizando medição ao longo de quatro raios, de oito raios, de múltiplos raios e vetorização;
- c) projetar e implementar módulo de *software* para a segmentação semi-automatizada de anéis de crescimento em imagens digitais;
- d) projetar e implementar módulo de *software* para geração de gráfico do perfil longitudinal da árvore;
- e) projetar e implementar módulo de *software* para geração de variáveis dendrométricas por idade;
- f) avaliar a precisão do método de cálculo da área transversal em imagens digitais pela contagem de *pixels*;

- g) comparar os resultados com os obtidos por técnicas de processamento digital de imagens;
- h) comparar a utilização de imagens de seções transversais de madeira verde em relação à madeira seca para a ANATRO;
- i) validar o uso do *software* com outra espécie de conífera;
- j) gerar uma tabela de variáveis dendrométricas com base nos resultados da ANATRO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CRESCIMENTO

“Crescimento é um fenômeno biológico de aumento do tamanho com o tempo, que envolve a formação, diferenciação e expansão de novas células, tecidos e organismos” (LAMBERS *et al.*, 1998, p.321).

O crescimento das árvores depende do funcionamento e produtividade das folhas, sendo que os produtos gerados pela fotossíntese e por processos metabólicos nas folhas determinarão a quantidade de material disponível para gerar incremento de biomassa. O incremento é afetado por fatores internos e externos, bióticos e abióticos, dentre eles os edafoclimáticos como a temperatura, a luminosidade, a gravidade, a disponibilidade de água e sais minerais, os níveis de CO₂; como também a hereditariedade, a competição, a fenologia, entre outros (VIEIRA *et al.*, 2010).

O crescimento vegetal longitudinal é chamado de apical ou primário, enquanto o lateral é também denominado secundário. O crescimento primário tem como função o crescimento longitudinal; já o crescimento secundário é determinado pelo meristema secundário onde o câmbio produz o floema voltado para o exterior e xilema secundário voltado para o interior (SOUZA, 2003).

A atividade do câmbio vascular está relacionada ao bioma em que a espécie está inserida e a inter-relação entre as diversas variáveis ambientais, tais como temperatura, pluviosidade, umidade relativa do ar, fotoperíodo e seus processos fisiológicos (TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2001).

Em biomas tropicais, onde a temperatura anual e a disponibilidade de água são relativamente constantes, em determinadas plantas, o câmbio vascular é ativo ao longo de toda a vida, dividindo-se continuamente. Já em biomas que apresentam sazonalidade climática, a existência de plantas com crescimento anual é comum, havendo um período de crescimento e um de dormência. Em climas temperados, a dormência, induzida pelas baixas temperaturas, ocorre nos meses de outono e inverno, assim como nas regiões áridas, a dormência ocorre pela seca (FAHN, 1974, KOSLOWSKI; PALLARDY, 1997).

A dinâmica de crescimento das espécies é outro fator que interfere na atividade cambial, como por exemplo, a queda e o brotamento de folhas, floração e frutificação, ou seja, a sua fenologia (BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001). Exemplo disso, segundo Cardoso (1991), é o que ocorre com *Tectona grandis*, onde o câmbio vascular se mantém em dormência quando as folhas estão em senescência e os frutos em fase de dispersão, e torna-se ativo quando as folhas estão em fase de desenvolvimento.

As diferenças de atividades do câmbio resultam em diferenças na anatomia da madeira. Quando as plantas despertam do período de dormência e suas atividades fisiológicas estão plenas, as células da madeira possuem paredes finas e lúmens grandes, geralmente resultando numa coloração clara. No entanto, quando o processo de dormência é iniciado, com a diminuição do período vegetativo, a atividade fisiológica das células diminui e, conseqüentemente, suas paredes tornam-se gradualmente mais espessas e seus lúmens menores, resultando em uma madeira mais densa, geralmente de coloração mais escura. Esta alternância de cores é o que evidencia os chamados anéis de crescimento (BOTOSSO; MATTOS, 2002).

2.2 ANÉIS DE CRESCIMENTO

Segundo Larson (1994), “anéis de crescimento são estruturas anatômicas do xilema secundário que, observadas em corte transversal, configuram círculos mais ou menos concêntricos e contínuos, ao redor da medula”.

Os anéis de crescimento normalmente são acrescentados anualmente, razão pela qual são também conhecidos como anéis anuais e, pela sua contagem, pode-se saber a idade do indivíduo. Os anéis de crescimento podem ser ordenados por escala temporal, pois por meio de divisões periclinais, o câmbio forma novos elementos xilemáticos e floemáticos. Portanto, quanto mais próximo à medula mais antigo é o anel (LARSON, 1994, STOKES; SMILEY, 1968, BURGUER; RICHTER, 1991).

Em um anel de crescimento típico distinguem-se normalmente duas partes: o lenho inicial ou lenho primaveril e o lenho tardio ou lenho outonal. O lenho inicial caracteriza-se por ser produzido quando a atividade fisiológica da planta está

vigorosa, e, conseqüentemente, a atividade cambial, gerando madeira de coloração mais clara. O lenho tardio, caracterizado por ser produzido em períodos de baixa atividade fisiológica ou dormência, possui coloração de tonalidade mais escura. Sua ocorrência, nestas características, é comum nas gimnospermas ou coníferas (COSTA, 2001).

A ocorrência dos anéis de crescimento, nas angiospermas dicotiledôneas, ou folhosas, é determinada por algumas características anatômicas: presença de uma faixa de células parenquimáticas nos limites dos anéis de crescimento (parênquima marginal), que aparece macroscopicamente como uma linha tênue de tecido mais claro; alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento (aspecto visível sob microscópio); concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo (porosidade em anel); espessamento diferencial das paredes das fibras de forma análoga ao que ocorre nas gimnospermas; alteração no espaçamento das faixas tangenciais de um parênquima axial (reticulado ou escalariforme). Este fenômeno pode vir acompanhado adicionalmente por um menor número ou ausência de poros do lenho tardio (zona fibrosa). O lenho pode apresentar duas ou mais destas características (COSTA, 2001, BURGER; RICHTER, 1991).

Finalmente, podem ocorrer espécies cujos anéis de crescimento são indistintos.

2.2.1 Anatomia dos anéis de crescimento

Segundo Burger e Richter (1991), os anéis de crescimento podem ser classificados anatomicamente como:

- a) anéis de crescimento com bordas distintas: anéis de crescimento com uma mudança estrutural abrupta entre as bordas, usualmente incluindo uma mudança na espessura da parede da fibra e/ou diâmetro radial da fibra;
- b) anéis de crescimento com bordas indistintas ou ausentes: Anéis de crescimento vagos e acentuados por maiores ou menores mudanças estruturais graduais em suas bordas pobremente definidas, ou não visíveis.

As bordas dos anéis de crescimento podem ser marcadas por uma ou mais das seguintes mudanças estruturais (IAWA,1989):

- a) fibras de lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente ou traqueídeos contra fibras de paredes finas de lenho inicial ou traqueídeos;
- b) acentuadas diferenças no diâmetro do vaso entre o lenho tardio e o lenho juvenil do anel seguinte como um anel semi poroso e anel poroso;
- c) parênquima marginal (terminal ou inicial), Irregularmente zoneado, bandas parenquimais tangenciais sem mudanças bruscas associadas de diâmetros de fibras ou espessura de parede não são considerados marginais e não representam limites de anéis de crescimento distintos;
- d) traqueídeos vasculares e elementos de vasos muito estreitos e numerosos ou formando o tecido-base do lenho tardio, e ausência do lenho juvenil;
- e) decremento da frequência da banda do parênquima para o lenho tardio resultando em zonas de fibras distintas;
- f) raios distendidos.

Embora a ausência de limites dos anéis de crescimento seja um descritor suficientemente claro, a diferença entre limites “indistintos” e “distintos” é, de certa forma, arbitrária, pois há, também, meio termos entre ambos. Anéis de crescimento podem parecer distintos quando observados macroscopicamente, mas têm limites indistintos quando observados à luz da microscopia. Limites indistintos dos anéis de crescimento são muito comuns nas árvores tropicais (IAWA,1989).

Quanto à estrutura, os anéis de crescimento podem ser classificados como (BURGER; RICHTER,1991), (ZENID; CECCANTINI, 2007).

- a) madeira com anéis porosos: madeiras nas quais os vasos no lenho juvenil são distintamente maiores que aqueles no lenho tardio do anel de crescimento anterior, e formam uma zona bem definida ou anel, e dentro da qual há uma transição abrupta para o lenho tardio do mesmo anel de crescimento;
- b) madeira com anéis semi porosos: madeira na qual os vasos no lenho juvenil são distintamente maiores daqueles do lenho tardio do anel de crescimento anterior, mas no qual há uma transição gradual no estreitamento dos vasos no intermédio ou no lenho tardio do mesmo anel de crescimento; ou madeira com um anel distinto de vãos de lenho juvenil

muito próximos que não são acentuadamente maiores que os vãos do lenho tardio do anel seguinte ou do mesmo anel de crescimento. Definição alternativa: Condição intermediária entre anéis porosos e madeiras com poros difusos;

- c) madeira porosamente difusa: madeira na qual os vasos são mais ou menos do mesmo diâmetro ao longo do anel de crescimento, sendo que a maior parte das espécies tropicais ou das espécies do clima temperado enquadra-se nesta classe.

2.2.2 Falsos anéis de crescimento

Anéis de crescimento descontínuos são aqueles que não formam um círculo completo em torno da medula. Os chamados *falsos anéis de crescimento*, ocorrem quando se forma mais de um anel por período vegetativo, o que dificulta a determinação exata da idade de uma árvore.

Anéis de crescimento descontínuos ocorrem principalmente em árvores velhas que apresentam copa assimétrica. O câmbio em uma ou mais regiões do tronco permanece em dormência durante uma ou várias estações de crescimento, provocando a descontinuidade do anel. Falsos anéis de crescimento podem surgir em virtude da perda temporária da folhagem causada por geadas tardias, ataques fúngicos ou de insetos, ou devido a estímulo de crescimento fora de época, motivado por condições favoráveis: uma primavera seca seguida de outono chuvoso, disponibilidade súbita de nutrientes, eliminação de concorrentes, etc. (BURGER; RICHTER, 1991).

2.3 ANÁLISE DE TRONCO (ANATRO)

Os anéis de crescimento fornecem informações importantes sobre a planta e sua interação com o meio. Anéis bem espaçados indicam períodos favoráveis ao crescimento; espaços menores entre os anéis indicam baixos incrementos de crescimento, com períodos desfavoráveis (BURGER; RICHTER, 1991).

Devido a esta correlação, a análise dos anéis de crescimento é base para vários ramos da ciência: dendrometria, dendrocronologia, dendroecologia,

dendrohidrologia, dendrogeomorfologia, dendroentomologia, dendroarqueologia, entre outros (GRISSINO-MAYER, 2012).

Segundo Burger e Richter (1991), a análise dos anéis de crescimento tem aplicação na silvicultura, silvimetria e ordenamento florestal por fornecer bases para prognoses de produção. Permite a investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais (bióticos, abióticos) e ao manejo do povoamento (adubação, poda, desbaste), bem como a avaliação das alterações de forma das árvores. Ao se correlacionar os anéis de crescimento com a meteorologia, pode-se avaliar as precipitações havidas durante o período de atividade vegetativa e a identificação de variações climáticas em épocas passadas.

A análise dos anéis de crescimento permite também a obtenção e dados da dinâmica florestal.

A substituição do tempo por espaço implica em se obter exemplares em diferentes séries temporais ao longo do processo sucessional ou do gradiente ecológico, e através de cronossequências pode-se traçar um panorama de desenvolvimento da vegetação ao longo do tempo. (SANQUETA, 2009)

Pode-se considerar, portanto, que os anéis de crescimento anuais são verdadeiros “arquivos históricos” das condições ambientais, uma vez que suas características (e.g. largura, densidade, quantidade de vasos, composição química) também variam em função do ambiente (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Husch *et al.* (1982), Análise de Tronco é “o registro do crescimento passado de uma árvore, mediante a contagem e medição dos anéis de crescimento de seções transversais tomadas a diversas alturas no tronco”.

A Análise de Tronco pode ser completa ou parcial. Na ANATRO completa a árvore é derrubada e dela é retirado um determinado número de discos ao longo do tronco; na parcial, o indivíduo não é derrubado e é retirado, com o auxílio de um trado de Pressler, apenas um rolo de incremento (FINGER, 1992).

2.3.1. O método ANATRO Tradicional

Barusso (1977) e Encinas *et al.* (2005) estabelecem os seguintes passos para a ANATRO: em campo são efetuadas a seleção das árvores-amostra e o seccionamento das árvores; em laboratório são efetuadas a secagem, a marcação

dos raios de medição, a medição dos anéis e traçado do perfil longitudinal da árvore.

- a) seleção das árvores-amostra: para o estudo e classificação do sítio, devem ser escolhidas preferencialmente árvores dos estratos dominantes e codominantes (indivíduos livres de competição). Para a estimativa dos valores médios da população serão escolhidas as árvores que possuam o diâmetro de área basal média. A amostra deve conter árvores de diversos sítios, de diferentes idades e todas as classes sociológicas ou de tamanho. Árvores bifurcadas ou com outros defeitos, tais como fuste tortuoso ou copa quebrada, devem ser descartadas (HERMAN *et al.*, 1975).
- b) seccionamento da árvore: para o seccionamento das árvores, adota-se um esquema semelhante ao utilizado para a realização da cubagem rigorosa. Deve-se procurar abranger o máximo de variação possível, levando-se em consideração o custo do processo e os aspectos operacionais. Escolhida a árvore amostra, marca-se no tronco a altura do peito (1,30m) e um dos pontos cardeais (geralmente o norte) para referência, e registra-se o DAP. Após a derrubada, proceder a retirada dos discos (seções transversais do tronco), a começar pela extremidade da base, 0,0 m ou próximo à altura de 0,10 cm. Na realização de estudos detalhados um número maior de discos deverá ser retirado da seção inferior (1ª. seção), coletando discos a 0,50 ou 0,70, a 1,0 e a 1,30 metros de altura. Dependendo da finalidade do estudo, para a retirada das fatias a partir da altura do DAP, a árvore deverá ser seccionada de um em um metro, ou de dois em dois metros, ou ainda em pontos equidistantes em relação à altura total da árvore, sempre evitando-se a ocorrência de nós (FINGER, 1992). A espessura dos discos deverá variar de 3 a 5 cm, considerando que discos finos racham com facilidade e discos grossos demoram a secar. Além da identificação dos discos deve-se conhecer o número de identificação da árvore, o sítio e a posição de onde foram retirados os discos. Para retirada dos discos em árvores resinosas, como na *Tectona grandis*, deverá, se possível, ser empregado serrote ou serra elétrica com baixa rotação. A resina, em contato com a serra de alta rotação, provoca manchas escuras na superfície da madeira,

prejudicando a leitura dos anéis de crescimento (FIGUEIREDO, 2001). As fatias devem ser colocadas em recipientes arejados e transportadas ao laboratório.

- c) secagem: após a retirada dos discos, esses deverão passar pelo processo da secagem e, posteriormente, de lixamento. A secagem deve ser feita em locais bem arejados e à sombra, com os discos em pé para melhor aeração. O processo de secagem estará concluído quando o teor de umidade dos discos estiver em equilíbrio com a umidade do ar. No caso do uso de estufa, o tempo de secagem poderá ser reduzido significativamente. Três a cinco dias em estufa ventilada, a temperaturas em torno de 40 a 50°C, são plenamente suficientes para secagem dos discos. A secagem estará concluída quando os discos apresentarem pesos constantes, ou seja, não mais ocorrer perda de água.
- d) lixação: após a secagem, os discos deverão ser lixados de modo a tornar os anéis de crescimento mais visíveis e facilitar a contagem e correspondente medição (FIGUEIREDO, 2001). O lixamento deve ser feito progressivamente iniciando-se com lixas mais grossas e paulatinamente substituindo-se por lixas mais finas.
- e) marcação dos raios de medição: para se medir a espessura dos anéis de crescimento são traçados raios no sentido da medula para a borda do disco. “O número de raios e a disposição destes na fatia e a forma de calcular sua média são fatores determinantes na acuracidade das medições de área transversal” (SIOSTRZONEK¹, 1958, citado por ROSOT, 2002). No Brasil, recomenda-se o traçado de raios perpendicularmente dispostos; inicia-se pela determinação do maior raio da fatia e, a partir dele, girando-se 45°; no sentido anti-horário, marcar o primeiro raio a ser medido e a cada 90° um novo raio (BARUSSO, 1977; MACHADO, 1978; ROSOT *et al.*, 1995). A estimativa da espessura dos anéis de crescimento obtida pela média aritmética dos quatro raios será evidentemente mais representativa. A marcação dos raios também pode

¹ SIOSTRZONEK, E. Radialzuwachs und Flächenzuwachs. Genauere Bestimmung des Grundflächenzuwachses mit Bohrspänen und Stammscheiben **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, Hamburg, v. 77, p. 237-254, 1958.

ser feita através da metodologia proposta por Siostrzonek (1958) em que a marcação de oito raios é efetuada com ângulo de 45° entre si, a partir do maior raio. Husch (1982) recomenda a medição de apenas um raio médio de cada seção.

- f) medição dos anéis: a medição da dimensão acumulada dos anéis é feita sobre os raios traçados, considerando-se que a medula é o ponto zero. Para a medição, podem ser usadas réguas e aparelhos óticos (lupas) ou aparelhos específicos construídos para essa finalidade, existentes no mercado.
- g) traçado do perfil longitudinal da árvore: contam-se e medem-se os anéis de crescimento nas seções transversais do tronco obtidas em diferentes alturas e em distâncias regulares. A contagem deve ser feita no sentido casca-medula, verificando a existência ou não de falsos anéis ou anéis duplos. A medição dos comprimentos dos raios é feita no sentido medula-casca. A média dos raios pode ser calculada por meio da média aritmética, geométrica ou quadrática. A partir do traçado longitudinal é possível fazer a cubagem da árvore em todos os períodos de crescimento. No traçado do perfil da árvore (FIGURA 1) e para os cálculos a serem realizados, deve-se anotar o número dos anéis e também o correspondente diâmetro. Recomenda-se calcular a média das leituras de posições perpendiculares, a fim de melhorar a precisão da avaliação. A partir desses dados, passa-se a desenhar o perfil longitudinal da árvore, de onde se estimam sua idade, altura, diâmetro, área basal e transversal, e volume. Na construção do perfil longitudinal observam-se os dados e transferem-se para papel milimetrado, sobre o qual se marca um sistema de eixos coordenados. Deve-se considerar o eixo y como sendo a medula da árvore, sobre o qual se marcarão as alturas onde foram retirados os discos até a altura total. Sobre a abscissa, eixo x, marca-se o raio médio de cada anel à esquerda e à direita do eixo y, constituindo assim, seu diâmetro. O mesmo procedimento deve ser repetido para todos os discos retirados. Após a marcação dos diâmetros em cada altura, procede-se a união dos pontos correspondentes ao desenho de cada anel no eixo da árvore. A união dos pontos será efetuada de fora para dentro (da casca para a medula), formando assim o gráfico da análise de tronco. Quando a

casca é medida, a união dos pontos mais extremos corresponde à parte externa da casca. Barusso (1977) recomenda para a determinação da altura do término do anel de crescimento, que se trace uma paralela ao anel imediatamente seguinte, no intervalo considerado, de tal forma que o anel deve encontrar com a medula com o mesmo ângulo do anel seguinte (FIGURA 2). Completando o traçado do perfil da árvore com a determinação do ponto exato de término de cada anel, pode-se ler, no gráfico, a altura de cada anel, que corresponderá à altura alcançada pela árvore em cada ano.

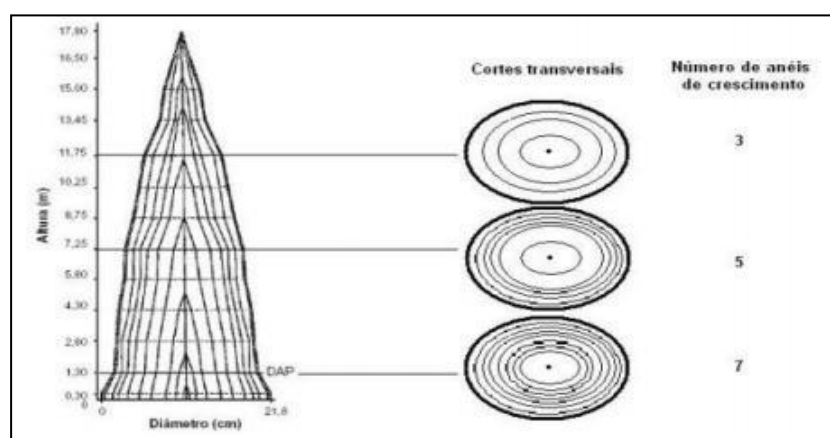


FIGURA 1- PERFIL LONGITUDINAL DE UMA ÁRVORE
 FONTE: ENCINAS *et al.* (2005).

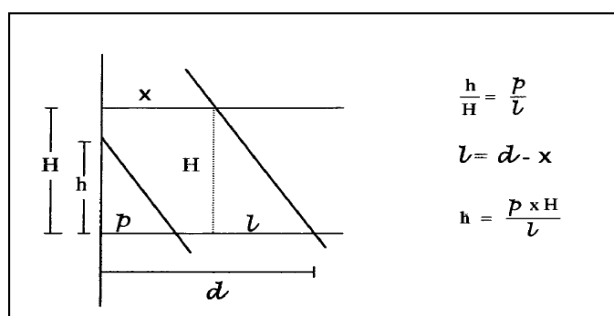


FIGURA 2- DIAGRAMA DO MÉTODO DO PARALELISMO PARA INTERPOLAÇÃO DA ALTURA DO TÉRMINO DO ANEL – PROPOSTO POR BARUSSO
 FONTE: ROSOT (2002).

onde:

H = comprimento da seção

h = altura do término do anel

d = comprimento do penúltimo raio da fatia inferior

p = comprimento do último raio da fatia inferior

x = comprimento do último raio da fatia superior

Eventualmente, podem-se utilizar várias técnicas para destacar os anéis de crescimento, embora nem sempre com resultados satisfatórios. Burger e Richter (1991, p 20) citam:

- a) aplicação de corantes: devido às diferenças estruturais dos lenhos inicial e tardio, ocorre muitas vezes uma absorção diferencial da solução corante, tornando os anéis mais evidentes;
- b) imersão em ácido: em coníferas, por exemplo, haverá normalmente uma corrosão mais intensa nas partes correspondentes ao lenho inicial, destacando-se os anéis por zonas mais ásperas ou por ondulações;
- c) exposição à chama de um bico de Bunsen: os anéis se evidenciarão por partes negras mais brilhantes.

2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A área de processamento de imagens pode ser dividida em duas categorias: o aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana; e a análise automática por computador de informações extraídas de uma cena (MARQUES FILHO, 1999).

2.4.1 Sistema de Processamento de Imagens

Um sistema de processamento de imagens é composto pelos seguintes elementos: aquisição, armazenamento, processamento e saída.

2.4.1.1 Aquisição

É a etapa que tem como função converter uma imagem em uma representação numérica adequada para o processamento digital subsequente. São utilizados equipamentos baseados em sensores de imagens que são dispositivos semicondutores e fabricados usando processos de microeletrônica, conhecidos como tecnologia planar, onde as propriedades de corrente e tensão são muito baixas, gerando essas cargas quando o feixe de luz que passa pela lente, incide sobre a superfície do sensor, sendo processado por um circuito eletrônico específico

e formando, assim, a imagem digital (SOUZA; CARDOZA, 2012). Atualmente, no mercado, os principais sensores de imagens são baseados nas tecnologias CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) e CCD (*Charged Coupled Device*). Escâneres, câmeras de vídeo e câmeras fotográficas digitais são exemplos de equipamentos de aquisição.

2.4.1.2 Armazenamento

Esta etapa pode ser dividida em três categorias:

- a) armazenamento de curta duração de uma imagem, utilizada nas várias etapas de processamento, utilizando as memórias primárias (RAM);
- b) armazenamento de massa para operações de recuperação de imagens relativamente rápidas, geralmente utilizando-se Banco de Dados ou discos rígidos;
- c) arquivamento de imagens para recuperação futura – mecanismos de cópias de segurança.

2.4.1.3 Processamento

O processamento de imagens digitais envolve procedimentos normalmente expressos na forma algorítmica, executadas pelo processador ou por placas especializadas. Na maioria das vezes, esta etapa é operacionalizada via *software*.

2.4.1.4 Exibição

O monitor de vídeo é um elemento fundamental de um sistema de processamento de imagens, pois permite a interação do usuário com o computador e exibe o resultado do processamento de imagem. Os monitores apresentam-se em vários tamanhos e tecnologias. Atualmente estão disponíveis utilizando as tecnologias de LCD, TFT, Plasma, OLED. Os monitores baseados na tecnologia CRT estão em obsolescência.

Outras formas de exibição dos resultados são as impressoras, os ploteres e projetores.

2.4.2 Sistemas de Visão Artificial (SVA)

Segundo Marques Filho (1999), um Sistema de Visão Artificial é um sistema computadorizado capaz de adquirir, processar e interpretar imagens correspondentes a cenas reais. A (FIGURA 3) representa esquematicamente os componentes de um SVA.

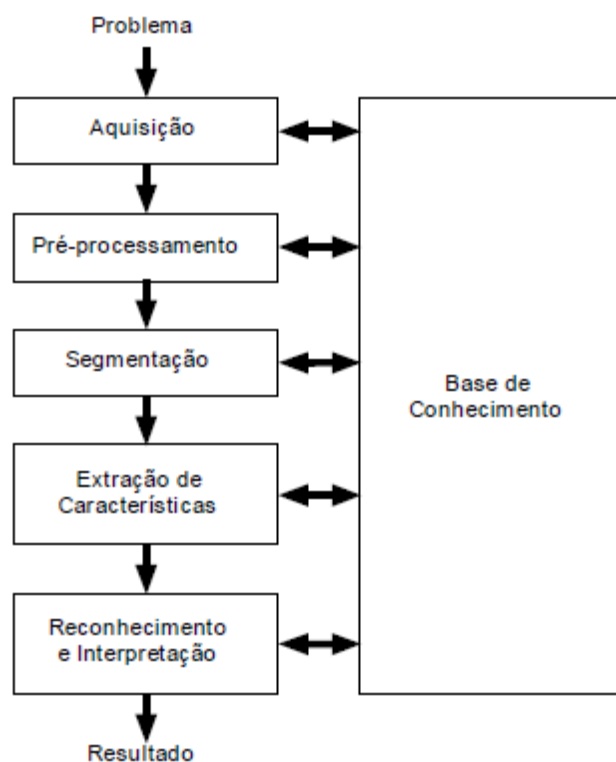


FIGURA 3- UM SISTEMA DE VISÃO ARTIFICIAL (SVA) E SUAS PRINCIPAIS ETAPAS.
FONTE: MARQUES FILHO (1999).

2.4.2.1 Domínio do problema e resultado

Refere-se ao que se espera como resultado do processamento da imagem. Para a ANATRO digital, pode-se considerar que o reconhecimento dos anéis de crescimento e suas dimensões são os objetivos a serem atingidos.

2.4.2.2 Aquisição da imagem

Como já mencionado no item 2.4.1.1, são utilizados sensores para converter a informação óptica em informação digital.

Os fatores a serem considerados, nesta etapa, são a escolha do tipo de sensor, o conjunto de lentes a utilizar, as condições de iluminação de cena, os requisitos de velocidade de aquisição, a resolução, o espaço de cor, dentre outros, gerando assim a imagem digitalizada do alvo em questão.

2.4.2.3 Pré-processamento

A função desta etapa é aprimorar a qualidade da imagem para as etapas subsequentes. Consiste na eliminação de imperfeições e ruídos resultantes da etapa de aquisição, como brilhos e contraste inadequados ou *pixels* ruidosos.

Várias técnicas podem ser utilizadas nesta etapa, dentre elas o histograma, que descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos de número de amostras com cada nível. A distribuição também pode ser dada em termos de percentagem do número total de *pixels* na imagem.

Já a técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões. O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada *pixel*, com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança (INPE, 2013).

A utilização de filtros é outra técnica utilizada. Consiste na aplicação de técnicas de transformação (operadores – máscaras) com o objetivo de corrigir, suavizar ou realçar determinadas características de uma imagem dentro de uma aplicação específica (LIMA, 2009). Entre os vários tipos de filtro tem-se o filtro de mediana, cujo objetivo é a remoção de ruídos sem alterar os contornos da imagem, causando, porém, danos em linhas finas e curvas agudas. O valor de cada *pixel* é substituído pela mediana dos *pixels* vizinhos. Este método apresenta desempenho particularmente bom em situações nas quais a imagem é contaminada por ruído impulsivo “sal-e-pimenta” (MARQUES FILHO, 1999).

2.4.2.4 Segmentação

Nesta etapa a imagem é dividida em suas unidades significativas, ou seja, nos objetos de interesse que a compõe. Em geral a segmentação é uma das mais difíceis tarefas em processamento de imagem. Esse passo no processamento determina o eventual sucesso ou falha de toda análise (GONZALEZ, 1992).

Normalmente nesta etapa são utilizadas imagens em níveis de cinza. Os algoritmos de segmentação de imagens em níveis de cinza geralmente são baseados em uma das duas propriedades dos valores de níveis de cinza: descontinuidade ou similaridade. Na primeira categoria, a abordagem é particionar uma imagem baseando-se nas mudanças abruptas no nível de cinza. As principais áreas de interesse dentro dessa categoria são a detecção de pontos isolados, detecção de linhas e detecção de bordas numa imagem. As principais abordagens da segunda categoria são baseadas em limiares (*Thresholding*), crescimento de regiões (*Region Growing*), junção e separação (*Split & Merge*) e aglomeração (*Clustering*) (NEVES; PELAES, 2001).

A limiarização é uma técnica utilizada para reduzir a quantidade de dados a serem tratados. Também conhecida como binarização, transforma uma imagem em níveis de cinza em uma imagem preto e branco a partir de um valor limiar (KUBIÇA; LETHELIER, 2012).

Outra metodologia consiste na segmentação com a utilização de movimentos, em que é efetuada a comparação de uma sequência de quadros com um quadro de referência, para então detectar um objeto em movimento. Quando não se possui uma imagem estática para referência, torna-se necessário construir uma a partir de um conjunto de imagens com objetos em movimento (THOMÉ, 2013).

2.4.2.5 Extração de características

Extração de características pode ser definida como a captura das informações mais relevantes para fazer uma classificação de um dado fornecido como entrada (DEVIJVER, 1982).

2.4.2.6 Reconhecimento e interpretação

Reconhecimento é o processo de atribuição de um rótulo a um objeto baseado em suas características, traduzidas por seus descritores. A tarefa de interpretação consiste em atribuir um significado a um conjunto de objetos reconhecidos (MARQUES FILHO, 1999).

2.4.2.7 Base de Conhecimento.

É o local onde é armazenado o conhecimento sobre o problema a ser resolvido, cujo tamanho e complexidade podem variar enormemente (MARQUES FILHO, 1999).

2.5 ANATRO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Os métodos de ANATRO exigem um esforço do dendrometrista de várias horas para a medição dos anéis de crescimento e a realização dos cálculos de crescimento e cubagem, além das projeções requeridas (PRODAN *et al.*, 1997). Neste contexto, vários métodos estão sendo desenvolvidos para automatizar este trabalho, principalmente para a segmentação dos anéis de crescimento, através do uso do computador, resultando inclusive em *softwares* de uso comercial.

Em 1994, Xinli *et al.* propõem um sistema automático de medição de anéis de crescimento baseado numa projeção radial. As imagens foram adquiridas em escala de cinza, com resolução de 400 dpi. O pré-processamento das imagens consistiu em realçar os anéis de crescimento e para a segmentação foi utilizada a técnica de GLGLM (*Grey Level Gap Length Matrix*), como definido por Wang *et al.* (1994). Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que, em comparação com procedimentos visuais utilizando-se lupa, a diferença média no comprimento dos raios dos anéis foi menor que 0,3 mm, e no número de anéis reconhecidos, o procedimento visual foi cinco por cento maior.

Em 1998, Zheng e Molina utilizaram uma combinação dos métodos da relação de FISHER com técnicas de mesclagem para a quantificação de parâmetros de anéis de crescimentos (contagem, localização e medição).

Em 2000, Jähne e Haussecker propõem um método para segmentação de imagens de anéis de crescimento utilizando a técnica de *WaterShed transformation*. Este método combina as técnicas de crescimento de regiões e detecção de bordas. As áreas das imagens são agrupadas em torno de *pixels* com valores mínimos e delimitadas pelos valores máximos.

Soille e Misson (2001) propõem um método semi-automatizado utilizando matemática morfológica para segmentação dos anéis de crescimento em *Picea abies* (L.) Karst. O método necessita de interação do usuário para correção de partes faltantes dos anéis quando estes são muito finos ou apresentam baixo contraste.

Rosot *et al.* (2003) compararam várias técnicas utilizando os *softwares* ArcGIS®, e DendroScan. Concluíram que:

...sob o ponto de vista prático, a utilização de técnicas fotográficas associadas a processamento digital de imagens é um procedimento exequível, eficaz e viável para a medição de anéis de crescimento em análise de tronco.

Observaram que a ANATRO digital produziu dados do crescimento em volume ao longo dos anos em média sete por cento maiores que o obtido pelo método convencional, porém, justificaram que essa diferença pode ter ocorrido em função de usarem discos recém-cortados (madeira verde) na ANATRO digital, enquanto na ANATRO convencional empregaram discos após a secagem.

Em 2006, Österberg *et al.* propõem o uso de um *frame* com tamanho variando de 20X20 *pixel* até 200X200 *pixel*, que é deslocado pela imagem para a detecção de bordas. O *frame* contém uma parte da imagem original e este *frame* é deslocado na direção do centro do tronco. A cada deslocamento o *frame* é recarregado e a técnica de PCA (*Principal Component Analysis*) é utilizada. Esta técnica mostrou-se adequada para aumentar o contraste e para determinar o nível de limiarização de imagens binária.

Em 2007, Rigozo *et al.* desenvolveram o *software* Tratamento Interativo de Imagens Digitais de Anéis de Árvores – TIIDAA para estudo de dendrocronologia utilizando *Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. As amostras consistiram de seções do tronco polidas e que contivessem anéis bem formados, sem defeitos. A aquisição das imagens foi feita por escanner com resolução de 900 dpi e 1200 dpi, gerando arquivos BMP, em tons de cinza. O tratamento de imagens

foi feito através de ajustes manuais do brilho, contraste e suavização, visando realçar os anéis. A identificação ocorreu de forma manual, utilizando-se o mouse para marcar o início dos anéis. Concluíram que a eficiência do método está diretamente relacionada com a distância entre os anéis e a resolução das imagens. Quanto mais próximos os anéis, maior deve ser a resolução das imagens.

Zhou *et al.* (2012) propuseram um método experimental semiautomatizado para reconhecimento dos anéis de crescimento, com a separação do lenho primavera do outonal, utilizando técnica de *WaterShed transformation* e janelas, seguido pela calibração de contagem de anéis de crescimento para detecção e inclusão de anéis faltantes ou incompletos.

Machado *et al.* (2013), Nutto *et al.* (2012) também realizaram estudos de comparação entre as técnicas convencional e digital, utilizando fotografias digitais e o *software* ArcGIS®, entre outros. Verificaram que a técnica da análise de tronco digital foi melhor para delimitar anéis de crescimento e automatizar os cálculos, e que através do teste de Komolgorov-Smirnov com $\alpha = 0,01$ não se identificou diferença significativa entre as distribuições de larguras de raios, geradas pelos métodos digitais e as geradas pelo método manual. No entanto a análise de tronco digital necessita de programas de computador específicos e pessoal treinado para manuseá-los, o que pode representar custo alto enquanto a técnica não for aprimorada.

Atualmente existem vários *softwares* disponíveis para a dendrologia por meio do processamento digital de imagens podendo ser consultados em <http://web.utk.edu/~grissino/software.htm>.

Pela sua relevância no mercado brasileiro, destacam-se a AnatroLivre®, o LignoVision™ e o WinDENDRO™.

O AnatroLivre®, desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, é gratuito e disponível para *download* no endereço <<http://labimagem.cnpdia.embrapa.br/Ferramentas.aspx?ferramenta=1>>. Foi projetado para a realização de projetos de ANATRO completa e dendrocronologia, através do processamento digital de imagens de seções transversais de tronco. Utiliza segmentação semiautomatizada dos anéis de crescimento por meio de procedimentos de morfologia matemática, onde somente os anéis adjacentes e correspondentes são levados em consideração. Permite a obtenção do

comportamento do diâmetro, área transversal, altura, volume e fator de forma ao longo dos anos de vida da árvore (JORGE; SILVA, 2009).

O LignoVisionTM, desenvolvido pela empresa alemã RINNTech® (<http://www.rinntech.de/>), é destinado para a digitalização de madeira e reconhecimento de anéis de crescimento. Foi projetado para trabalhar com imagens fotográficas de alta qualidade e com imagens de raios X de secções transversais de troncos de árvores. O reconhecimento dos anéis de crescimento é semiautomatizado e utiliza imagens em escala de cinza, por meio da detecção de diferenças de densidade. Seu preço é de €990,00, para uma licença e no máximo cinco usuários.

O WINDENDROTM, desenvolvido pela empresa canadense Regent Instruments Inc. (<http://www.regentinstruments.com/>), foi projetado para a medição de anéis de crescimento e outros parâmetros como densidades mínima, máxima e média, largura do lenho primaveril, entre outros. Trabalha com imagens fotográficas, e imagens digitais de Raios X. Possui dois métodos de reconhecimento semiautomatizado dos anéis de crescimento: o baseado pela diferença de brilho e o método *Teach & Show*, onde o usuário mostra o anel e o *software* detecta os demais utilizando os parâmetros apontados pelo usuário. Com a utilização do módulo opcional XLSTEM é possível o cálculo da média dos raios, volume por idade e área basal. Seu preço varia de €900,00 a €5.300,00.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O *software* ANATRO UFPR foi concebido com as seguintes características:

- a) permitir o cadastro de projetos e respectivas imagens digitais, utilizar espaços de trabalho (cartesiano, polar e cartesiano reconstituído) como interfaces de interação com o usuário;
- b) possibilitar os seguintes métodos para medição da área transversal: medição da média dos raios dos anéis ao longo de quatro raios, medição ao longo de oito raios, medição ao longo de múltiplos raios – estes definidos pelo operador e, vetorização completa dos anéis de crescimento;
- c) geração do gráfico do perfil longitudinal do tronco – ANATROGráfico;
- d) geração de tabela de variáveis dendrométricas.

O desenvolvimento do *software* foi baseado na metodologia Orientada a Objetos, utilizando a UML (*Unified Modified Language*) e Linguagem de Programação Delphi com biblioteca Gráfica Graphics32.

Para validação e teste do *software* foram utilizados os seguintes procedimentos:

- a) validação da obtenção da área transversal de imagem de seção transversal de fuste por contagem de *pixels*, comparando-se a área calculada de círculos com raios pré-definidos, com a área obtida pelo processamento de imagens, pelo ANATRO UFPR, contendo círculos com os mesmos raios;
- b) validação da acurácia das medições comparando-se os resultados obtidos por Rosot (2002), com a vetorização completa dos anéis de crescimento, utilizando imagens de seções transversais de *Pinus elliottii*, com 17 anos de idade, por meio do *software* ArcGIS®, com o processamento destas mesmas imagens com o ANATRO UFPR;
- c) teste de *software* com a realização de ANATRO utilizando-se dois conjuntos de dados compostos pelas imagens digitais das fatias de uma árvore de *Pinus taeda*, madeira verde, obtidas da árvore recém-cortada; e madeira seca, obtidas após a secagem e lixamento das fatias. Foram testados, para cada um dos conjuntos de dados, os procedimentos digitais para cálculo da área transversal pela vetorização dos anéis de

crescimento, pela marcação e medição dos anéis ao longo de quatro raios e ao longo de oito raios;

- d) teste para a verificação da aplicabilidade do ANATRO UFPR em outras espécies de coníferas, utilizando imagens de fatias recém-cortadas, de *Araucaria angustifolia*, com oito anos de idade.

3.1 MATERIAL

3.1.1 Origem dos dados para a comparação de ANATRO de madeira verde X madeira seca, de *Pinus taeda*.

A massa de dados utilizada para esta pesquisa é oriunda de uma árvore de *Pinus taeda*, com nove anos de idade, coletada no Campus Botânico III da UFPR, localizado no município de Curitiba – PR, de onde foram extraídas seções transversais.

A área de coleta está localizada no primeiro planalto paranaense, cujo clima é do tipo *Cfb*, segundo a classificação de Koeppen, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com ocorrência de mais de cinco geadas por ano. No período de 2006 a 2013, a precipitação média anual foi de 1.527,33 mm, com média de temperatura máxima de 23,66°C e mínima de 13,57 °C de acordo com o SIMEPAR (ZAMIN,2013).

O plantio, com um espaçamento inicial de 3 x 3 m, está localizado nas coordenadas centrais 25° 26' 48" e 49° 14' 10"W, com altitude de 914 m, conforme pode ser visto na (FIGURA 4), que tem uma marcação escrita "Coleta".

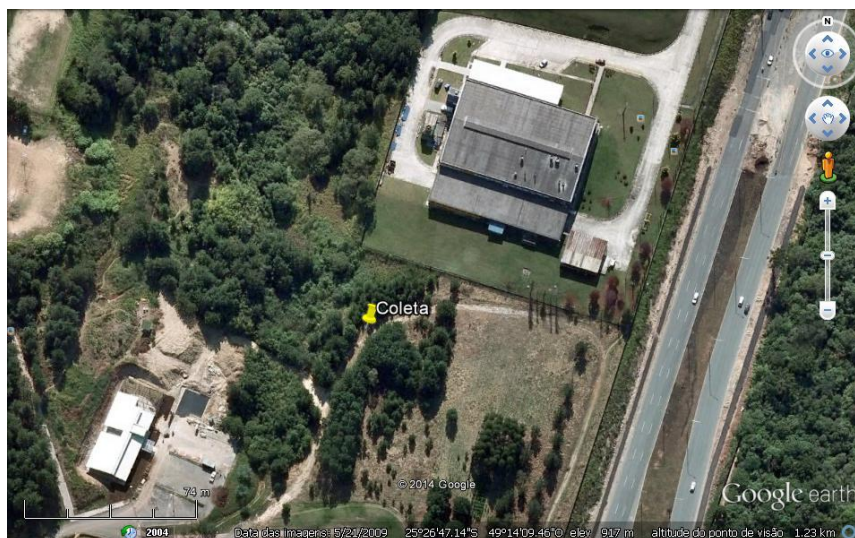


FIGURA 4- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DE DADOS
FONTE: Google Earth (2014).

A seleção da árvore foi baseada nas seguintes características: sem bifurcação, sem rachaduras, sem inclinação e dominante.

3.1.2 Procedimentos para coleta de dados no campo

Uma vez escolhida a árvore, eliminada a vegetação e efetuada a limpeza da área ao redor do tronco, foi marcado e medido o CAP/DAP. A medida da altura 1,30 m para medição do CAP/DAP foi feita com a árvore ainda em pé e a marcação foi feita com giz (FIGURA 5). Esta marca serviu como ponto de referência para a medição da altura total, após a derrubada da árvore. Esta marca pode também ser feita com um pequeno corte na casca com foice ou facão.



FIGURA 5 – MARCAÇÃO DO DAP E DA DIREÇÃO NORTE NO FUSTE DA ÁRVORE
FONTE: O autor (2014).

A derrubada da árvore, se feita de forma inadequada, pode resultar na inutilização do tronco para a ANATRO, devido a danos no tronco com a queda ou ainda pelo fato de ficar enroscada em outros indivíduos. Para que isto não ocorresse, o planejamento da queda foi feito de forma cuidadosa, levando-se em consideração o local de queda que deveria estar limpo e livre de pedras e troncos.

Verificou-se, para a derrubada, se não havia galhos entrelaçados com outras árvores, o que poderia resultar na queda em direção não planejada. O corte adequado da “boca” foi feito entre 10 e 20 cm do colo da árvore de forma a permitir o corte das fatias nas alturas 0,0m e 0,30m, com espessura adequada. O corte para formação da “boca” atingiu cerca de 1/3 do diâmetro da árvore com um ângulo de 45°. Procedeu-se ao corte para a formação da “dobradiça” no lado oposto da “boca”, e a profundidade de corte atingiu a profundidade da metade do tronco para que a madeira não rachasse (FIGURA 6).

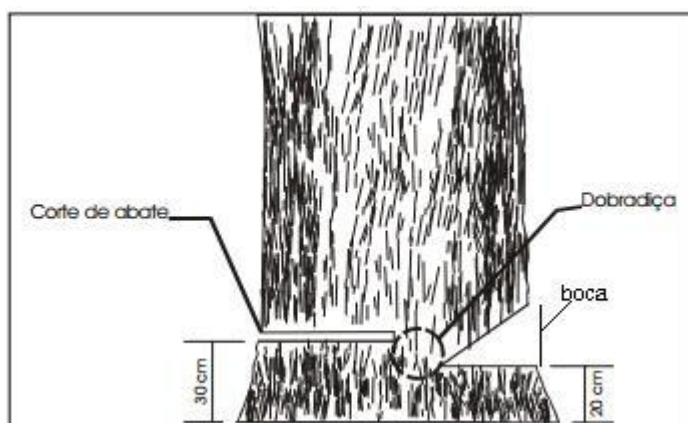


FIGURA 6 - TÉCNICA PADRÃO DE CORTE
FONTE: UFRA (2014) adaptado pelo autor.

Uma vez derrubada a árvore, verificou-se, principalmente tratando-se de uma conífera, se o topo da árvore estava intacto ou se foi quebrado durante a queda. Em caso de quebra, deve-se localizá-lo e posicioná-lo para medição da altura total.

O desgalhe foi feito com motosserra e foice, junto ao tronco e os galhos afastados da árvore para permitir o acesso para o corte das seções transversais.

A medição da altura total, com trena, até o topo da árvore, teve como base referencial a marcação do DAP.

Os locais de corte das seções transversais foram marcados de forma a evitar que coincidisse com os nós do verticilo, o que poderia resultar na inutilização da fatia para fins da ANATRO. Marcou-se juntamente o posicionamento do Norte ou

uma linha referencial para alinhamento das fatias cortadas. As alturas das marcações foram anotadas em formulário específico para tal (APÊNDICE 4).

Procurou-se extrair fatias o mais planas possível, sem irregularidades. O corte foi feito de uma vez só, no mesmo sentido, utilizando-se uma motosserra com corrente nova e bem afiada, com um operador prático. Recomenda-se levantar o tronco da árvore para evitar o contato dos dentes da corrente da motosserra com o solo e assim evitar-se que estes percam a afiação e que as fatias não fiquem sujas com a terra ou outros resíduos do solo.

Para as fatias mais próximas ao topo, onde a madeira é menos densa e com menores diâmetros, optou-se pelo corte com serrote para preservar as estruturas da madeira e facilitar o reconhecimento e leitura dos anéis.

Uma vez cortada a fatia, fez-se imediatamente a marcação identificadora na base da mesma (sentido base – topo do fuste), com marcador permanente como o lápis dermatográfico/vitrográfico ou pincel atômico, contendo o número da árvore, o número sequencial da fatia e também a altura de corte.

Tão logo cortada, transportou-se a seção transversal para o local de aquisição da imagem, onde a fatia foi limpa com escova de aço ou de plástico rígido para tirar resíduos de serragem e demais impurezas.

Recomenda-se a aquisição da imagem imediatamente após o corte quando os anéis estão mais nítidos, evitando-se o escurecimento que se inicia com o passar do tempo.

Após a obtenção das imagens, acondicionaram-se as fatias em sacos resistentes, arejados e devidamente identificados, para serem levadas para estufas de secagem.

3.1.3 Procedimentos para aquisição das imagens

Neste processo utilizou-se uma plataforma para aquisição de imagens (FIGURA 7), concebida para esta pesquisa, que atendesse às seguintes características: facilidade de transporte, possibilidade de nivelamento do alvo, possibilidade de utilização de fundo para isolamento do alvo e manutenção de uma distância fixa entre o sensor e o alvo.

As imagens foram adquiridas, com resolução máxima do equipamento, utilizando-se uma câmera fotográfica digital SONY DSC-W® 170 com 6MPx, e um *Smartphone* LG Optimus® G E977 4G Tela 4,7" True HD Android 4.1 Memória de 32GB Processador Quad-Core 1.5GHZ Câmera de 13MPx., ambas em resolução máxima.

Para a aquisição do primeiro conjunto de imagens – fatias de madeira verde, posicionou-se a plataforma próxima à árvore derrubada, em um local de fácil acesso.



FIGURA 7 - PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS
FONTE: O autor (2014)

Para a aquisição da imagem de cada fatia (FIGURA 8) procedeu-se da seguinte maneira:

- a) Na fatia, marcou-se a posição referencial do Norte com caneta;
- b) a fatia a ser fotografada, foi posicionada para que ficasse centralizada no campo de visão do equipamento fotográfico (FIGURA 7);
- c) para o estabelecimento do fator de escala, utilizou-se uma régua de escala 1/100, que foi posicionada junto a borda da superfície superior da fatia;
- d) Uma etiqueta de identificação, contendo o número da árvore, o número sequencial da fatia e respectiva altura de corte, foi colocada próxima a mesma;

- e) ajustou-se o *zoom* (magnificação) para que a fatia ocupe o maior espaço possível dentro do contexto da imagem;
- f) utilizou-se o *flash* para realçar as características do lenho.

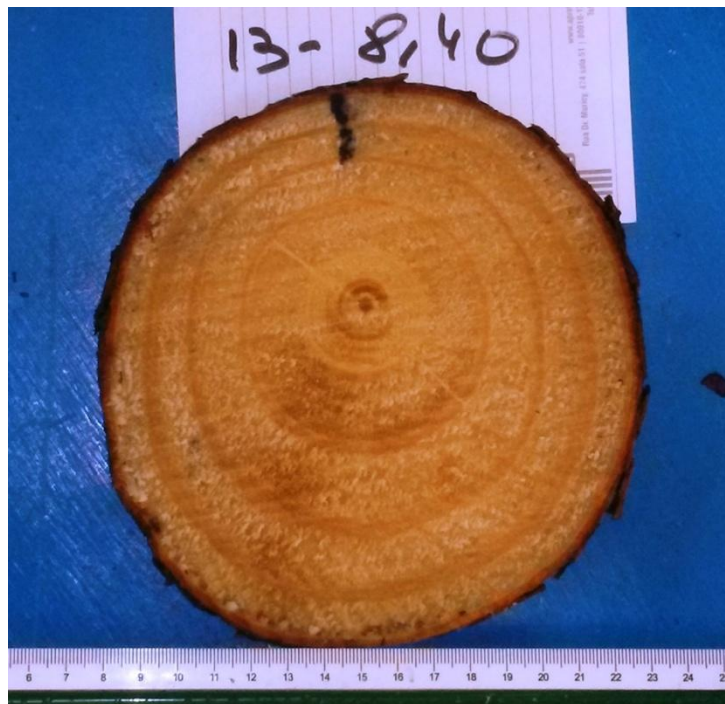


FIGURA 8 – FOTOGRAFIA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO
FONTE: O autor (2014).

Para a obtenção do segundo conjunto de dados – Madeira seca, transportaram-se as fatias para o laboratório onde foram secas naturalmente (FIGURA 9). Após a secagem procedeu-se o lixamento, iniciando-se com lixas mais grossas até a lixa fina. Após as fatias estarem devidamente lixadas, repetiu-se o procedimento de aquisição de nova série de imagens, com os mesmos equipamentos utilizados para a primeira massa de dados (madeira verde no campo).



FIGURA 9 – FATIAS ORGANIZADAS PARA SECAGEM
FONTE: O autor (2014).

3.2 CADASTRO DE PROJETOS E IMAGENS

Na concepção do *software*, entende-se por projeto, um conjunto de imagens de um determinado tronco, devidamente identificado, a ser analisado.

Os atributos de identificação dos projetos foram definidos levando-se em consideração o Modelo da Ficha de Catalogação dos Metadados das Parcelas Permanentes (GT Monitoramento, 2004), apresentado no ANEXO, e o proposto por Rosot (2002) para a realização da ANATRO manual.

São os seguintes atributos inicialmente definidos:

- a) Chave do Projeto: Identificador único gerado automaticamente pelo sistema;
- b) Identificação: identificador do projeto definido pelo usuário contendo:
 - Identificador: nome do projeto definido pelo usuário;
 - Data de criação: data da criação do projeto;
 - Responsável: contendo os subcampos Nome, Email, Telefone e Organização;
- c) Localização: estrutura contendo dados referentes ao local:
 - País;
 - UF;
 - Município;
 - Local: nome do local da coleta;
 - Talhão;

- Latitude;
- Longitude;
- Organização: nome da pessoa física ou jurídica detentora da área.
- Precipitação média anual (mm);
- Precipitação média mensal no período seco (mm);
- Precipitação média mensal no período chuvoso (mm);
- Meses no período seco;
- Meses no período chuvoso;
- Tipos de solo;
- Relevo;

d) Dados do Povoamento:

- Idade do povoamento (anos);
- Tipologia florestal;
- Mortalidade;
- Espaçamento;
- Histórico da floresta;
- Observações.

e) Dados da Árvore:

- Árvore número: número ou identificação da árvore;
- Gênero;
- Espécie;
- Variedade;
- X: posição relativa dentro da parcela, se for o caso;
- Y: posição relativa dentro da parcela, se for o caso;
- Data de Plantio;
- Data do Corte;
- Data da Coleta;
- Idade: informação obtida pela ANATRO;
- Ht: Altura total (m);
- DAP: Diâmetro à altura do peito -1,30 m (cm);
- CAP: Circunferência a altura do peito (cm);
- CIF: Classe de identificação do Fuste (ver ANEXO);

- IC: Iluminação da Copa; (ver ANEXO);
- Dominância: Tipo ou grau de dominância (ver ANEXO).

Cada projeto é composto por um conjunto de imagens, cada uma referente a uma seção transversal de tronco coletada em uma determinada altura.

São os seguintes atributos definidos para cada imagem:

- a) Altura de corte da fatia em metros;
- b) Nome do arquivo;
- c) Diretório ou pasta de armazenamento;
- d) Escala em *pixel/mm*;
- e) Tamanho em *pixels* da imagem;
- f) Formato da imagem;
- g) Coordenadas cartesianas do centro da medula em relação aos eixos da imagem;
- h) Coordenadas cartesianas da posição do Norte na imagem.

3.3 ESPAÇO DE TRABALHO

Espaço de trabalho é definido como uma imagem e um conjunto de funcionalidades utilizadas para o processamento da ANATRO.

3.3.1 Espaço Cartesiano

Considera-se como Espaço Cartesiano a imagem original da fatia e as funcionalidades de definição da posição do centro da medula, do norte, e do fator de escala em *pixel/mm*.

3.3.2 Espaço Polar

Como o crescimento diamétrico da árvore se dá de forma radial e periférica, a partir do câmbio, onde os anéis de crescimento configuram círculos mais ou menos concêntricos, se observados em um corte transversal, optou-se por

transformar a imagem original, que é uma projeção cartesiana, em uma imagem baseada num sistema polar, a partir do centro da medula.

As funcionalidades presentes neste espaço são: definição do método de cálculo da área transversal dos anéis de crescimento; localização do Maior Raio; posicionamento dos raios, quando o caso; marcação dos vetores das bordas dos anéis de crescimento; detecção semiautomatizada dos anéis de crescimento.

Para transformar uma imagem cartesiana para uma imagem baseada em um sistema polar são necessárias várias etapas, descritas na sequência.

A (FIGURA 10) mostra um modelo esquemático, onde o espaço a ser transposto para a imagem do Espaço Polar é definido pela área do círculo (c) de raio (r). A transposição para uma imagem baseada no sistema polar resulta numa imagem cujo comprimento é igual ao perímetro da circunferência (c) e a largura é igual ao raio (r) (FIGURA 11).

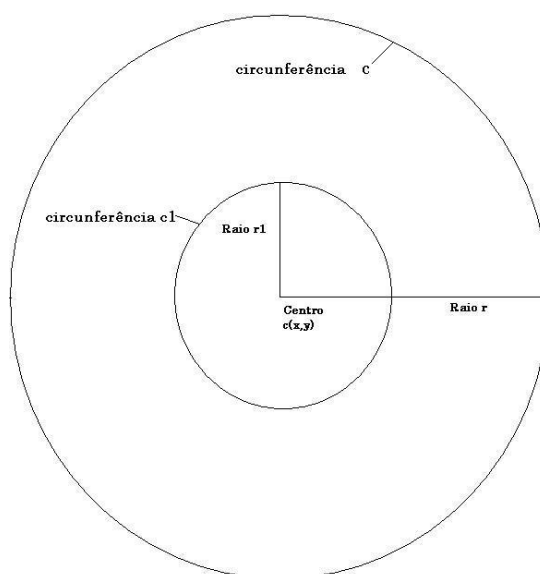


FIGURA 10- IMAGEM NO ESPAÇO CARTESIANO
FONTE: O autor (2014).

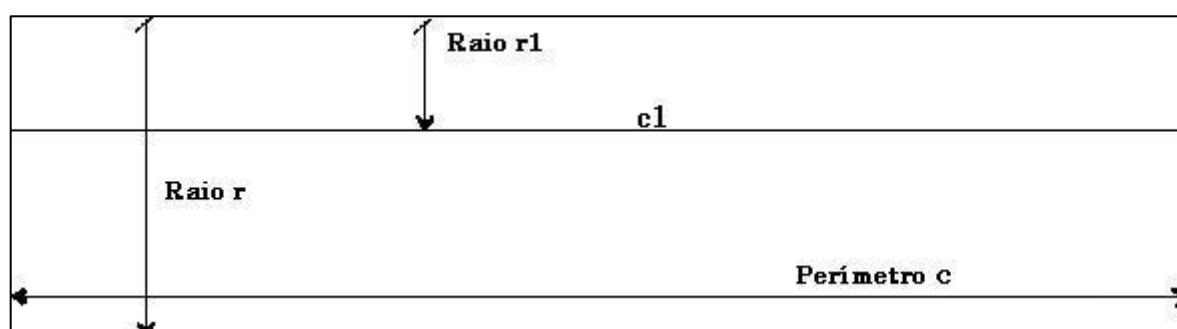


FIGURA 11 - MODELO ESQUEMÁTICO DA TRANSPOSIÇÃO DA FIGURA DA IMAGEM 10 PARA O SISTEMA POLAR
FONTE: O autor (2014).

A transposição de cada *pixel* “ $p_c(x,y)$ ” do espaço a ser transposto para a sua posição relativa “ $p_p(x,y)$ ” na imagem do sistema polar é dada pela seguinte equação:

$$p_p.x = \arctan(p_c.x - \text{centro}.x, p_c.y - \text{centro}.y) * r;$$

$$p_p.y = ((\text{centro}.x - p_c.x)^2 + (\text{centro}.y - p_c.y)^2)^{0.5}$$

onde:

centro: posição do centro da medula na imagem cartesiana;

r: raio do círculo que contém o espaço a ser transformado em imagem do sistema polar.

Observa-se na (FIGURA 10) que o círculo (c1) definido pelo raio (r1) passa a ser, no Espaço Polar, representado por uma linha reta (c1), cuja distância ao topo da imagem é igual ao valor de (r1). Portanto, todo o segmento de reta na (FIGURA 11), corresponde a um arco na (FIGURA 10).

Para a transposição utilizou-se o seguinte algoritmo:

- a) localizar o centro da medula “c”, o que é feito de forma manual/visual;
- b) obter a maior distância “r” entre o centro e as extremidades da imagem;
- c) obter o perímetro “p”, em *pixel*, de um círculo cujo centro é “c” e o raio é “r”;
- d) gerar o Espaço Polar, sendo uma imagem cuja dimensão é largura “r” e comprimento “p”;
- e) percorrer o perímetro, *pixel a pixel* (p_0 a p_n), e transcrever o vetor c- p_n para o Espaço Polar tendo como posição inicial o *pixel* (0,n) e, como posição final, o *pixel* (r,n);
- f) a cada novo vetor c- p_n incrementa-se uma posição na coluna da imagem do Espaço Polar.

3.3.3 Espaço Cartesiano Reconstituído

O Espaço Cartesiano Reconstituído é composto pela imagem gerada a partir da imagem do Espaço Polar transposta para um espaço cartesiano, e pelas funcionalidades de cálculo de área transversal dos anéis e definição dos polígonos que constituem os anéis de crescimento.

A imagem neste espaço possui as dimensões largura e comprimento equivalentes ao dobro da largura da imagem do espaço polar. O centro da imagem neste Espaço Cartesiano Reconstituído é o centro da medula da seção transversal definido no Espaço Cartesiano.

A transposição de um ponto da imagem do Espaço Polar “PP(x,y)” para um ponto na imagem no Espaço Cartesiano Reconstituído “PR(x,y)” é dada pela fórmula:

$$PR_x = (PP_y * \text{Seno}(PP_x * 2 * \pi / \text{perimetro})) + \text{centro.x}$$

$$PR_y = (PP_x * \text{Cosseno}(PP_y * 2 * \pi / \text{perimetro})) + \text{centro.y};$$

onde:

Centro_(x,y): Centro da imagem do Espaço Cartesiano Reconstituído

Perímetro: Comprimento da imagem do Espaço Polar

3.4 FUNCIONALIDADES

3.4.1 Método para definição do fator de escala.

O fator de escala é definido em *pixel/mm*. É obtido com a escolha na imagem, pelo operador, de dois pontos da imagem da régua de escala fotografada junto com a fatia, cuja dimensão, em milímetros, é conhecida.

O número de *pixels* entre os dois pontos P1_(x,y) e P2_(x,y), ou seja, a distância entre eles, no plano cartesiano, pode ser calculada aplicando o teorema de Pitágoras.

O fator de escala, portanto, é definido pela seguinte fórmula:

$$\text{Fator de Escala} = (((P2_x - P1_x)^2 - (P2_y - P1_y)^2)^{0,5}) / d_{mm}$$

onde:

Fator de Escala: em *pixel/mm*

P1_(x,y) e P2_(x,y): pontos na imagem cartesiana, cuja distância em milímetros é conhecida.

d_{mm}: distância em milímetros entre os pontos P1 e P2.

3.4.2 Rotulagem dos anéis de crescimento

A identificação dos anéis de crescimento é feita no sentido casca – medula, onde o primeiro anel tem a posição -1, ou seja, ano -1 a partir da data de corte, o segundo anel, posição -2 e assim por diante até o último anel antes da medula (FIGURA 12). Isto permite a construção do gráfico de perfil longitudinal do tronco e a reconstituição do crescimento anual da árvore.

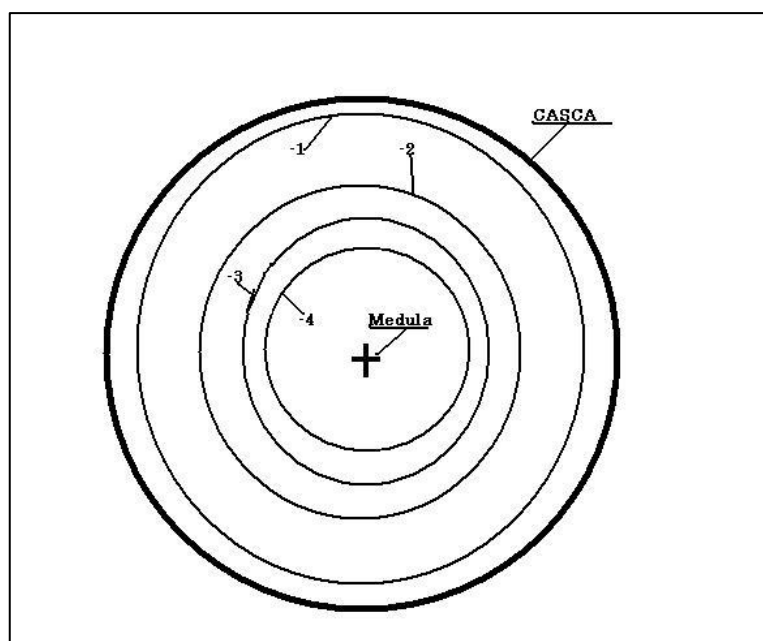


FIGURA 12- ROTULAGEM DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO
FONTE: O autor (2014).

3.4.3 Métodos de geração de polígonos

A região da imagem de uma seção transversal de tronco, cuja área está contida entre a medula e a borda vetorizada de um determinado anel de crescimento, constitui um polígono.

Para a vetorização das bordas são disponibilizados ao usuário, no Espaço Polar, os seguintes métodos:

- a) localização dos pontos ao longo de quatro raios;
- b) localização dos pontos ao longo de oito raios;
- c) localização dos pontos ao longo de múltiplos raios;
- d) vetorização manual;
- e) vetorização semiautomatizada.

A definição dos pontos para a vetorização das bordas, com exceção do método de vetorização semiautomatizada, é feita visualmente pelo usuário, marcando-os com o uso do *mouse*. Estes pontos são armazenados em coordenadas polares, para cada anel de crescimento.

Para auxiliar a precisa localização da borda do anel de crescimento são disponibilizadas as funcionalidades de magnificação da imagem (*zoom*), com aumento máximo de 1.000%, e de escolha de diferentes tipos de algoritmos para reconstrução da imagem em caso de magnificação (*kernel*)- box, linear, spline, Lanczos, Mitchell.

O polígono gerado para cada anel de crescimento é resultante da transposição dos segmentos de reta resultantes da vetorização no Espaço Polar para o Espaço Cartesiano Reconstituído. Neste processo, o polígono resultante é composto por segmentos de arco.

3.4.3.1 Medição ao longo de quatro raios

O primeiro procedimento, ao escolher este método, é a localização do maior raio da seção transversal do fuste. Para tanto, o sistema gera, no espaço polar, duas linhas perpendiculares entre si, formando um “T” invertido, paralelas com as margens da imagem. Com o uso do *mouse*, o usuário desloca a interseção destas linhas até o local onde a distância da medula e o câmbio é a maior. Este ponto é chamado de Maior Raio.

Uma vez definida a localização do Maior Raio, o sistema gera automaticamente as linhas a partir deste, sendo o primeiro raio a 45°, e os próximos com intervalos de 90°.

O seguinte algoritmo foi utilizado:

1) considerando-se que o comprimento, em *pixels*, da imagem “ c_i ” equivale a 360°, tem-se que cada grau é:

$$1^\circ = c_i / 360$$

Portanto, a posição do primeiro raio gerado é obtida pela fórmula:

$$r_1 = r_M + 45 * c_i / 360$$

onde:

r_1 : coordenada y (coluna) do primeiro raio;

r_M : coordenada y (coluna) do maior raio;

c_i : comprimento em *pixel* da imagem.

2) nesta posição é traçada uma linha de $(0, r_1)$ a (r_{M_x}, r_1) , onde " r_{M_x} " é a coordenada x do maior raio;

3) posteriormente são incrementados, a partir de r_1 , $90/360/c_i$ *pixels* para a geração dos próximos raios.

Uma vez definido o Maior Raio e plotados os raios, inicia-se a etapa de localização visual dos pontos referentes às bordas dos anéis de crescimento. Para este procedimento, o usuário clica com o *mouse* na borda do anel, sobre os raios, para a definição dos pontos, os quais serão plotados. Estes pontos podem ser movimentados pelo usuário, ao longo dos raios, visando uma localização mais precisa.

Simultaneamente à localização dos pontos, o sistema gera, em outra janela, no Espaço Cartesiano Reconstituído, os polígonos referentes aos anéis de crescimento.

3.4.3.2 Medição ao longo de oito raios

Os procedimentos para este método são os mesmo do contido na medição ao longo de quatro raios, descritos no item anterior, com exceção do algoritmo para cálculo da localização e plotagem dos oito raios, conforme o seguinte algoritmo:

$$Dr = Li/8;$$

onde:

Dr : distância em *pixels* entre raios;

Li : largura da imagem em *pixels*.

A partir da posição do Maior Raio, desenham-se retas paralelas ao Maior Raio distanciadas de Dr .

3.4.3.3 Múltiplos Raios

Como nos métodos anteriores, inicialmente localiza-se o Maior Raio. Neste método o usuário escolhe o número e a posição dos raios que melhor lhe convier, clicando com o *mouse* ao longo da linha do Maior Raio.

A localização dos pontos é feita como descrito no item 3.4.3.1, ao longo dos raios.

Este método é recomendado nos casos em que o perfil da seção transversal for irregular.

3.4.3.4 Vetorização

A vetorização dos anéis de crescimento resulta num vetor que delimita as bordas dos anéis de crescimento. Para a realização deste procedimento são definidas as seguintes etapas:

- a) definição da localização do Maior Raio;
- b) localização, na linha do Maior Raio, das bordas dos anéis de crescimento; nesta etapa, o sistema gera linhas paralelas horizontais, perpendiculares ao Maior Raio, para cada anel de crescimento;
- c) definição dos pontos de contorno dos anéis de crescimento; ao definir um ponto referente à borda de um anel de crescimento, o sistema ajusta automaticamente a linha daquele anel, gerando o vetor de contorno.

Cada ponto definido pode ser movimentado ou excluído pelo usuário.

3.4.3.5 Método semi-automatizado

O método semi-automatizado consiste num procedimento de segmentação automática das bordas dos anéis de crescimento, com posterior validação visual.

Como a madeira não apresenta uniformidade visual em suas estruturas, e isto fica evidenciado quando se analisa os *pixels* da imagem (FIGURA 13), optou-se pela transformação da imagem em tons de cinza e posterior aplicação de passagens de filtros de mediana (5x5), tantas vezes quanto necessárias até a uniformização das texturas dos lenhos primaveril e outonal.

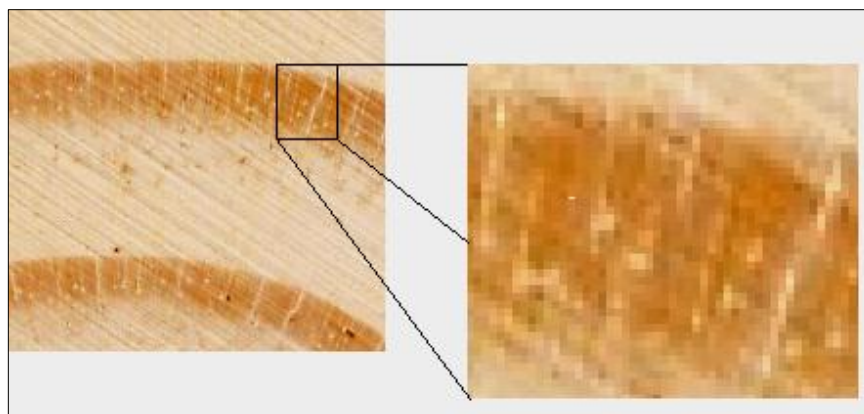


FIGURA 13-IMAGEM PARCIAL DO LENHO DE *Pinus taeda*
AMPLIADA
FONTE: O autor (2014).

Definiram-se duas passagens do filtro de mediana como o procedimento inicial, podendo ser incrementada pelo usuário até a obtenção de imagens com a qualidade desejada.

Após, a passagem dos filtros de mediana é realizado o procedimento de detecção de bordas.

A detecção de bordas é realizada em cada coluna da imagem lendo-se da margem superior para a margem inferior, considerando-se como borda um gradiente negativo entre o *pixel* corrente e o seu antecessor. Baseia-se no princípio em que o lenho outonal é mais escuro que o lenho primaveril e a transição do outonal para o primaveril é mais abrupta que o inverso.

Uma camada é gerada permitindo a sobreposição do resultado do processamento à imagem do Espaço Polar.

Neste procedimento são disponibilizadas ferramentas, além das mencionadas na vetorização, tais como a definição do nível de gradiente e a possibilidade de várias passagens do filtro de mediana até a obtenção do padrão desejado.

3.4.4 Cálculo da área transversal (g)

São disponibilizados vários métodos para a obtenção da área transversal: os dependentes das variáveis diâmetro (d), raio(s) (r) ou perímetro (c), levando-se em consideração que os fustes das árvores são circulares; e o método por contagem de *pixels* em um polígono.

Os métodos dependentes de variáveis são obtidos conforme as seguintes fórmulas:

$$g = d^2/4 \quad \text{em função do diâmetro}$$

$$g = c^2/4 \quad \text{em função da circunferência}$$

$$g = r^2 \quad \text{em função do raio}$$

No caso da utilização do raio como variável, a área transversal pode ser calculada em função do raio médio, obtido pela média aritmética, média geométrica ou média quadrática (ROSOT, 2002), segundo as fórmulas:

$$\text{média aritmética} \quad r_m = (r_1 + \dots + r_n)/n$$

$$\text{média geométrica} \quad r_m = (r_1 \cdot \dots \cdot r_n)^{1/n}$$

$$\text{média quadrática} \quad r_m = ((r_1^2 + \dots + r_n^2)/n)^{0,5}$$

onde:

r_m = raio médio

$r_1 \dots r_n$ = raios medidos variando de 1 a n.

Como os fustes das árvores não são perfeitamente circulares, Machado e Figueiredo Filho (2009) concluíram que quanto mais alongada for a forma geométrica de figuras com o mesmo perímetro, menor será sua área, recomendando a utilização da média geométrica quando o fuste se aproximar da forma elíptica.

O método por contagem de *pixels* em um polígono é utilizado como método padrão para o cálculo volumétrico, sendo que o polígono é gerado no Espaço Cartesiano Reconstituído para cada anel de crescimento.

A contagem dos *pixels* é feita segundo a fórmula:

$$\text{Área}_{px} = \sum P(x,y) + (\sum P_{borda}/2)$$

onde:

Área_{px} : é a área em *pixel* do polígono;

$\sum P(x,y)$: é a contagem dos *pixels* contidos no polígono, excetuando-se a borda;

$\sum P_{borda}$: é a contagem dos *pixels* da borda.

A área transversal em mm^2 é obtida multiplicando-se Área_{px} pelo fator de escala.

3.4.5 ANATROGráfico

O ANATROGráfico é um gráfico que mostra o traçado do perfil longitudinal da árvore em diâmetro médio ou raio médio, em centímetros, por idade, em relação à altura, em metros.

É gerado simultaneamente ao Espaço de Trabalho Reconstituído e está sincronizado, em tempo de execução com os demais espaços de trabalho. Qualquer alteração na localização dos pontos de vetorização, implica em alteração no ANATROGráfico.

Nesta ferramenta o usuário pode escolher a forma de estimativa de altura do anel de crescimento entre dois métodos: por paralelismo com o anel anterior, ou pela tendência de crescimento do próprio anel.

A estimativa da altura do anel por paralelismo com o anel anterior deve ser utilizada para o cálculo de volumes de demais variáveis dendrométricas dependentes desta medida.

No entanto, a estimativa da altura pela tendência de crescimento do próprio anel é utilizada como ferramenta auxiliar para estimar a localização de anéis de difícil identificação nos espaços de trabalho.

3.4.6 Planilha de variáveis dendrométricas

As tabelas de produção são um importante instrumento para a elaboração de planos de manejo florestal, pois podem ser utilizadas para estimar a produtividade de diferentes povoamentos florestais que possuam condições ecológicas e de manejo semelhantes (ROSOT *et al.* 1993,1995).

A planilha de variáveis dendrométricas é baseada nas variáveis de tabelas de produção. O padrão é a apresentação destas variáveis para uma árvore.

A planilha permite a simulação das variáveis volume (v) e área transversal (g) por hectare, com a utilização de uma coluna contendo o número de árvores por hectare. Neste caso, considera-se a árvore como a árvore representativa do sítio analisado.

A Planilha de variáveis dendrométricas é apresentada na forma de uma tabela cujos dados podem ser exportados no padrão csv, permitindo sua utilização em planilhas eletrônicas como Excel, LibreOfficeCalc, etc.

Nesta planilha são apresentadas as seguintes variáveis dendrométricas, por idade:

DAP	– Diâmetro, em centímetros, obtido através da área transversal a 1,30 m do solo;
ICA _{DAP}	– Incremento Corrente Anual em DAP;
IMA _{DAP}	– Incremento Médio Anual em DAP;
g	– Área transversal em metros quadrados;
ICA _g	– Incremento Corrente Anual em área transversal (m ²);
IMA _g	– Incremento Médio Anual em área transversal (m ²);
h	– Altura em metros;
ICA _h	– Incremento Corrente Anual em altura (m);
IMA _h	– Incremento Médio Anual em altura (m);
v	– Volume em metros cúbicos – podendo optar-se pelo método de Smalian ou tronco de cone
ICA _v	– Incremento Corrente Anual em volume (m ³);
IMA _v	– Incremento Médio Anual em volume (m ³);
FF	– Fator de Forma comum;
FFH	– Fator de Forma de Hohenadl ou real.

O cálculo do volume - uma das principais finalidades dos levantamentos florestais, notadamente àqueles com finalidades comerciais (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009) é obtido no ANATRO UFPR por dois métodos: Smalian, criado na Alemanha em 1807 e o método por Tronco de Cone. Ambos enquadram-se na categoria de cubagem rigorosa (medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco da árvore (GOMES, 1957)).

A fórmula de Smalian mede os diâmetros ou as circunferências nas extremidades de cada seção:

$$V = ((g_1 + g_2)/2)l$$

onde:

v = volume da seção da tora

g₁ = área transversal na base da tora

g_2 = área transversal no topo da tora

l = comprimento da tora

Para o cálculo do volume total, somam-se os volumes de todas as seções e considera-se o volume da ponta como um cone:

$$v_p = g_n \cdot l_p / 3$$

onde:

v_p = Volume da ponta

g_n = área transversal da base do cone

l_p = altura do cone

O cálculo do volume pela equação de tronco de cone se dá pela fórmula:

onde:

V = volume da seção do tronco

h = altura do tronco do cone

R = raio da base do tronco

r = raio do topo do tronco

Assim como no método de Smalian, para o cálculo do volume total do tronco, considera-se a ponta como um cone.

O Fator de Forma é a razão entre o volume da árvore e o volume de um cilindro (SILVA; PAULA NETO, 1979, SANQUETTA *et al.*, 2009). É utilizado para estimar o volume da árvore em pé como um redutor que deve ser multiplicado pelo produto da área transversal(g) com a altura (h). Quanto mais próximo de um (1) mais cilíndrico é o tronco. São dois métodos, utilizados para seu cálculo no ANATRO UFPR:

- a) O Fator de Forma artificial ou comum é calculado levando-se em consideração a relação entre o volume da árvore e o volume de um cilindro com base no diâmetro tomado a 1,30m.

- b) O Fator de Forma natural ou de Hohenadl se refere à relação entre o volume da árvore e o volume de um cilindro com base no diâmetro tomado a 1/10 da altura.

O Incremento Corrente Anual - ICA expressa o crescimento ocorrido entre o início e o fim da estação de crescimento, em um período de 12 meses. As variáveis utilizadas para medir o crescimento são o DAP, a área transversal (g), a altura (h) e o volume (v). A curva de crescimento é obtida pela relação ICA com as respectivas idades (HUSCH *et al.*, 1982).

O Incremento Médio Anual - IMA é o incremento médio anual para cada ano, calculado dividindo-se o crescimento cumulativo pela idade (HUSCH *et al.*, 1982). Como o ICA, são utilizadas as variáveis DAP, a área transversal (g), a altura (h) e o volume (v).

3.5 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

3.5.1 Linguagem de Programação

A linguagem de Programação utilizada foi Embarcadero DELPHI v7, produzida pela empresa Embarcadero Technologies Inc. Esta linguagem é orientada a objetos, seu compilador utiliza Object Pascal e gera códigos nativos para os sistemas operacionais Windows 32 e 64 bits, MAC OS X, IOS e Android.

O Delphi permite o desenvolvimento de aplicações *desktop*, aplicações multicamadas, cliente/servidor, WEB e CTI (*Computer Telephony Integration*), além de ser compatível com os principais bancos de dados do mercado.

3.5.2 Biblioteca gráfica

Optou-se pela utilização da biblioteca gráfica Graphics32, disponível em <http://sourceforge.net/projects/graphics32/files/graphics32/>. É licenciada nos termos de *Mozilla Public Licence*.

A biblioteca Graphics32 é projetada para operações com *pixels* e primitivas gráficas no formato de 32 bits, resultando em desempenhos otimizados nos acessos

por *pixels* e no desenho de linhas, além de dar suporte à utilização de múltiplas camadas (Graphics32.org, 2014).

3.5.3 Metodologia Multicamadas

A implementação deste modelo baseou-se na arquitetura “modelo-visão-controlador” - MVC (BUSCHMANN, 2003) onde as aplicações são desenvolvidas em três camadas distintas e interdependentes:

- a) camada controladora: responsável pela lógica do ambiente, onde estão contidas as classes;
- b) camada modelo de dados: responsável pela persistência dos dados (banco de dados);
- c) camada interface: responsável pela apresentação e interação do usuário com o sistema.

3.5.3.1 Camada controladora

A implementação desta camada deu-se através da metodologia orientada a objetos e a modelagem representada pela UML (*Unified Model Language*) (RUMBAUGH, 1996).

Projetaram-se as seguintes classes para a gerência de objetos informacionais:

- a) classe Projeto: contém os dados para a identificação do projeto para a execução da ANATRO;
- b) classe Imagem: destina-se a conter uma imagem e seus atributos, pertencentes a um projeto;
- c) classe Imagem_anéis: Contém os vetores de pontos dos anéis de crescimento de uma determinada imagem.

Na (FIGURA14) está representado um diagrama de classes simplificado do ANATRO UFPR, onde um projeto contém uma ou mais imagens, que por sua vez, uma imagem é composta por um ou mais anéis de crescimento.

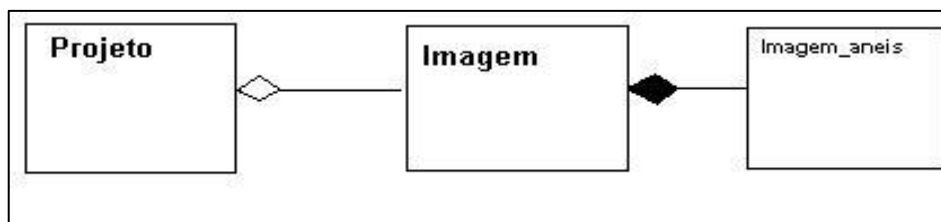


FIGURA 14- DIAGRAMA DE CLASSES SIMPLIFICADO DO ANATRO UFPR
 FONTE: O autor (2014).

3.5.3.1.1 Classe Projeto

Os atributos da Classe Projeto são os constantes no item 3.1 - Cadastro de Projetos e Imagens.

3.5.3.1.2 Classe Imagem

A Classe Imagem contém os atributos discriminados no item 3.2 - Cadastro de Projetos e imagens, acrescentando-se o atributo Método de geração de polígono.

3.5.3.1.3 Classe Imagem_aneis

Esta classe é utilizada para o armazenamento e processamento dos vetores que contém as coordenadas polares dos pontos referentes a um anel de crescimento e possui os seguintes atributos:

- a) Chave_Anel: identificador gerado automaticamente pelo sistema;
- b) Número: posição relativa em relação à casca, sendo -1 (um negativo) o primeiro anel, -2 (dois negativo) o segundo anel e assim por diante;
- c) Vetor: vetor contendo as coordenadas polares dos pontos do anel de crescimento.

3.5.3.2 Camada Modelo de Dados

O ANATRO UFPR foi projetado para a utilização de banco de dados relacionais compatíveis com a linguagem SQL ANSI 92. A implementação desta funcionalidade foi efetuada empregando-se a biblioteca de componentes ZEOSDBO versão 7.1.4, que é livre e de código aberto, sendo compatível com os seguintes bancos de dados: MySQL®, PostgreSQL®, Interbase®, Firebird®, MS SQL®, Sybase®, Oracle® e SQLite.

A (FIGURA 15) apresenta o Diagrama Entidade Relacionamento utilizado para o armazenamento de dados.

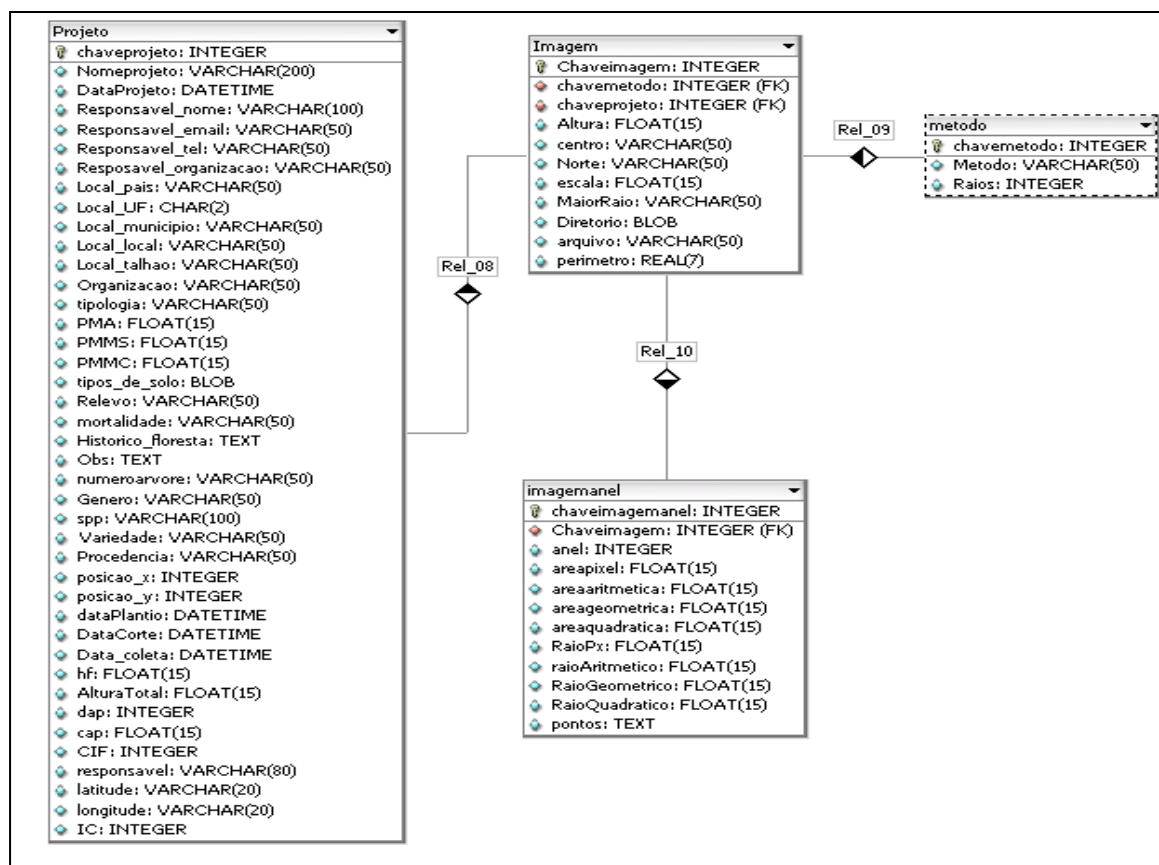


FIGURA 15- DIAGRAMA ENTIDADE RELACIONAMENTO DO SOFTWARE ANATRO UFPR

FONTE: O autor (2014).

3.5.3.3 Camada interface

A interação do usuário com o *software* se dá em um ambiente *desktop*, por meio dos seguintes *forms* (formulários ou janelas):

- a) Projeto - onde pode-se criar, excluir e alterar um projeto, ou ainda, criar um novo projeto a partir de um existente pela opção “Exportar”;
- b) Imagens - vinculação das imagens aos projetos, por altura da seção do corte transversal;
- c) Espaços de Trabalho - (Espaço Cartesiano, Espaço Polar e Espaço Cartesiano Reconstituído), com as respectivas funcionalidades e as seguintes camadas:
 - Polígonos, no Espaço Cartesiano Reconstituído, para cálculos da área transversal;
 - Contornos dos anéis de crescimento e respectivos raios;
 - Reconhecimento semi-automatizado dos anéis (Espaço Polar).
- d) ANATROGráfico com interação com os Espaços de Trabalho;
- e) Planilha Volume X Idade – contam as seguintes variáveis dendrométricas do projeto, por idade:
 - DAP;
 - área transversal (g);
 - altura (h);
 - volume (v) pelos métodos de Smallian e Tronco de Cone;
 - Fatores de Forma comum e de Hohenadl.
- f) Planilha Anéis X Raios X Área – criada por ocasião da criação do Espaço Polar, apresenta para cada Anel as seguintes variáveis:
 - distância de cada anel em relação à medula nos respectivos raios;
 - área calculada pela média aritmética dos raios;
 - área calculada pela média geométrica dos raios;
 - área calculada pela média quadrática dos raios;
 - área por contagem de *pixels*;
 - raios médios aritméticos;
 - raios médios geométricos;
 - raios médios quadráticos;
 - raio por área transversal;
 - diferenças percentuais entre as áreas calculadas com base em diferentes médias e a área calculada em *pixels*.

3.6 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a validação dos resultados foi utilizado como base de comparação os dados do experimento de Rosot (2002) com as respectivas imagens de fatias secas e lixadas de *Pinus elliottii* Engelm., com 17 anos, coletado em um povoamento pertencente à Embrapa Florestas, localizado no município de Colombo – PR.

Comparou-se os resultados volumétricos obtidos por Rosot (2002) com a ANATRO DIGITAL, utilizando o *software* ArcGIS®. Ambos utilizando a vetorização completa dos anéis de crescimento para a obtenção do raio médio obtido a partir da área transversal.

3.7 UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR EM OUTRAS ESPÉCIES

A validação do uso do ANATRO UFPR em outras espécies foi efetuada utilizando-se uma árvore de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., com oito anos de idade, coletada em povoamento florestal da Estação Experimental de Rio Negro, pertencente à UFPR, no município de Rio Negro - PR. As imagens foram coletadas no campo, com a madeira verde, logo após o corte, utilizando-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

A identificação dos anéis e a geração da tabela de variáveis dendrométricas foram efetuadas com o ANATRO UFPR, utilizando-se a medição da área transversal por meio da localização e medição dos anéis ao longo de oito raios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS NO CAMPO

O sucesso do procedimento de Análise de Tronco depende da coleta adequada das seções transversais em campo. Fatias sem danos (ausência de rachaduras), com cortes uniformes, apresentando poucas marcas de ranhuras dos dentes da corrente da motosserra, sem nós e manchas, são as ideais para a aquisição das imagens e posterior processamento.

Utilizou-se para esta pesquisa uma câmera fotográfica e um *smartphone*. Embora este último tivesse uma resolução maior, a câmera fotográfica mostrou-se mais eficiente devido à possibilidade da magnificação ótica, o que não ocorre no *smartphone*.

A magnificação ótica permitiu imagens com maior nitidez pela facilidade do estabelecimento do foco. A (FIGURA 16) mostra a imagem desfocada obtida pelo *smartphone*, com magnificação digital, o que prejudicou a ANATRO digital.



FIGURA 16 - IMAGEM DESFOCADA DE SEÇÃO TRANSVERSAL CAPTURADA POR SMARTFONE COM ZOOM DIGITAL
FONTE: O autor (2014).

A iluminação, com o uso forçado do *flash*, mostrou-se adequada, pois realçou os anéis de crescimento e evitou sombras. No campo, em sol pleno, foi

necessário transferir a plataforma de aquisição de imagens para um local que não possibilitasse sombras.

Quanto à resolução dos equipamentos fotográficos, as resoluções acima de quatro *MPixel*, como as utilizadas nesta pesquisa, permitiram medições com precisão de décimos a centésimos de milímetro na identificação do centro da medula ou das bordas dos anéis de crescimento.

Outro fator que interferiu no procedimento de aquisição de imagens foi a correta localização das fatias na plataforma de aquisição de imagens. A fatia deve estar centralizada logo abaixo da câmera. Isto possibilita, juntamente com a utilização da magnificação, o melhor aproveitamento do espaço da imagem.

A (FIGURA 17) mostra uma fatia colocada inadequadamente, descentralizada, o que gerou desperdício na utilização do espaço. Caso fosse centralizada, haveria a possibilidade do aumento de magnificação, com consequente aumento da precisão das medições. Esta imagem foi ajustada no pré-processamento antes da utilização no ANATRO UFPR.



FIGURA 17- IMAGEM DE UMA FATIA, NA ALTURA 0,0m, COLOCADA INADEQUADAMENTE NA PLATAFORMA
FONTE: O autor (2014).

Para a adequada obtenção do fator de escala no processamento da imagem pelo ANATRO UFPR, posicionou-se a régua de escala junto à borda superior da

fatia para minimizar efeitos de paralaxe e distorções da imagem ocasionadas pela lente.

A utilização de etiquetas de papel, com a identificação da fatia e respectiva altura de corte, facilitou a identificação da imagem no ANATRO UFPR. Caso não houvesse esta etiqueta, a identificação ocorreria pela vinculação do nome do arquivo à altura de coleta, o que geraria vários transtornos e com alta possibilidade de erros, principalmente quando fossem tomadas várias imagens da mesma fatia.

4.2 PROCESSAMENTO DIGITAL VIA ANATRO UFPR

Concebeu-se a seguinte sequência para a obtenção dos resultados esperados por meio do ANATRO UFPR:

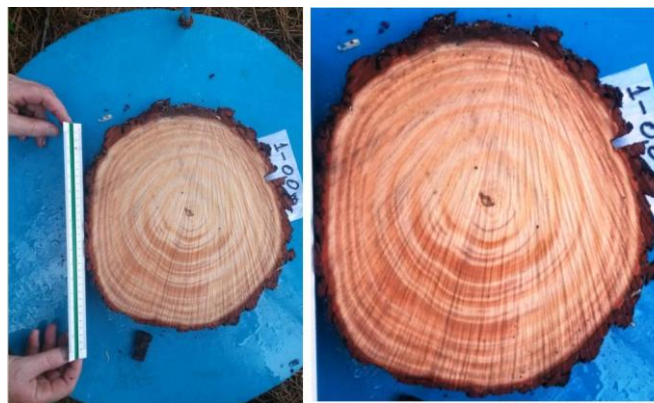
- a) criar uma pasta específica destinada ao armazenamento das imagens por projeto. Para cada projeto, cria-se uma subpasta, identificada pelo nome do projeto;
- b) transferir as imagens da câmera fotográfica para a pasta específica do projeto. Recomenda-se renomeá-las de forma que o nome contenha a altura de corte, por exemplo: img000.jpg para a altura 0m, img030.jpg para a altura 0,30m e assim por diante. Este procedimento facilita a localização e vinculação da imagem ao projeto;
- c) pré-processar as imagens;
- d) cadastrar o projeto;
- e) vincular as imagens ao projeto;
- f) definir o método de calcular a área transversal;
- g) reconhecer os anéis de crescimento nas imagens utilizando-se os espaços de trabalho apropriados;
- h) gerar o ANATROGráfico e demais tabelas.

4.2.1 Pré-processamento digital

Antes de se iniciar um projeto, recomenda-se fazer um pré-processamento das imagens com as seguintes finalidades: realçar as estruturas da madeira através do ajuste do brilho e contraste; e otimizar as dimensões da imagem eliminando-se

áreas não relevantes ao processo. Estas ações foram feitas utilizando-se o *software* Microsoft Office Picture Manager, com as ferramentas de Correção Automática e de corte.

Na (FIGURA 18), encontram-se a imagem original e a pré-processada.



(a)

(b)

FIGURA 18- IMAGEM ORIGINAL (a) E IMAGEM CORRIGIDA AUTOMATICAMENTE E CORTADA (b), EXCLUINDO-SE AS ÁREAS NÃO ÚTEIS AO PROCESSAMENTO

FONTE: O Autor (2014).

4.2.2 Cadastramento de Projetos

Ao executar o *software* ANATRO UFPR, a primeira tela apresentada é o formulário Projetos (FIGURA 19).

Neste formulário, há o painel Projeto, à esquerda, onde são mostrados todos os projetos cadastrados, em ordem decrescente, com as respectivas funcionalidades para navegação entre os projetos e cadastramento/manutenção de projetos (botões).

No painel Imagens, à direita, estão os dados das imagens vinculadas ao projeto, com as funcionalidades de navegação e cadastramento/manutenção de imagens (botões).

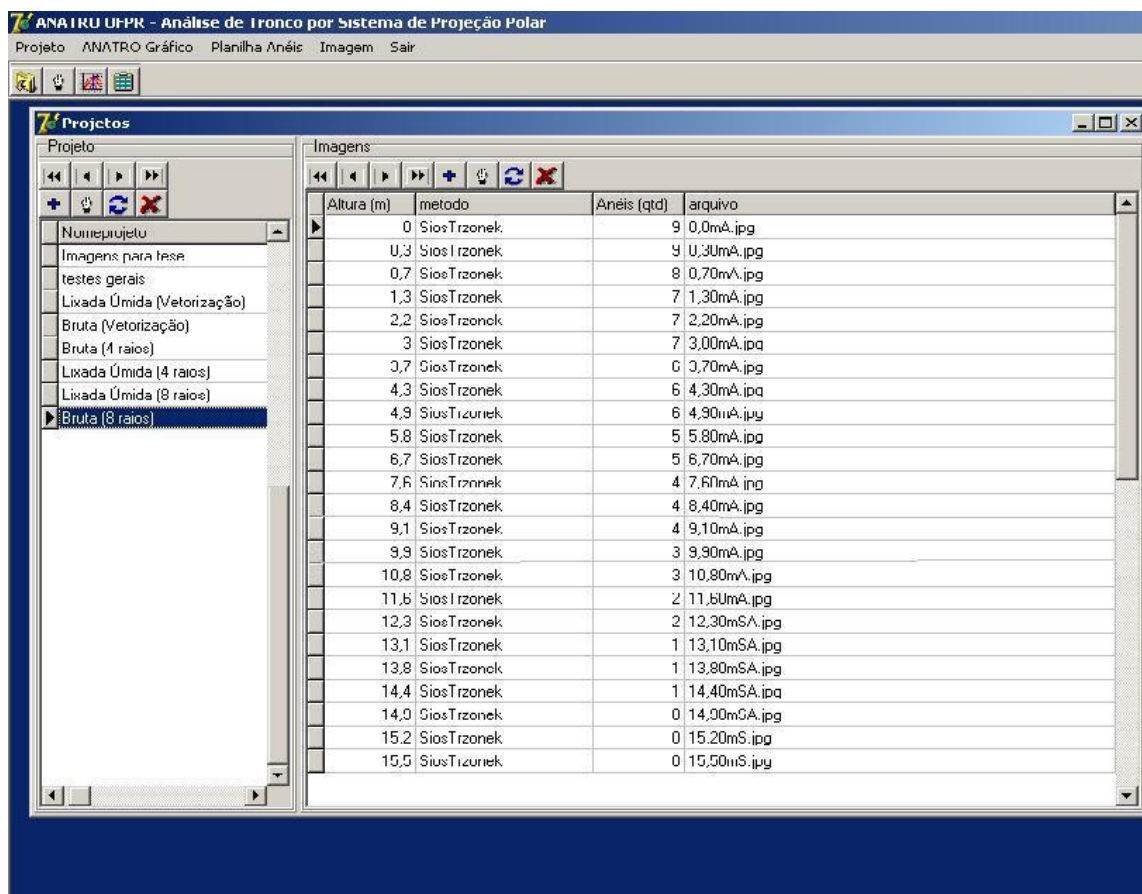


FIGURA 19 - TELA PRINCIPAL DO SISTEMA
FONTE: O autor (2014).

Ao se iniciar um novo projeto, o primeiro procedimento é cadastrá-lo, utilizando a funcionalidade de inclusão de novo projeto, contida no formulário “Projetos”, painel “Projeto” (FIGURA 19). Esta funcionalidade abre o formulário “Projeto”, contendo todos os campos para a identificação do projeto e respectivos dados complementares (FIGURAS 20, 21, 22 e 23).

The screenshot shows a software window titled 'Projeto' with a tabbed interface. The 'Projeto' tab is active, showing the following fields and controls:

- Tab bar: Projeto | Localização | Dados do Povoamento | Dados da árvore | Imagens
- Projeto: [Text input field]
- Data de Criação: 00/00/0000
- Altura Total (m): 0,00
- DAP (cm): 000
- Spp: [Text input field]
- Responsável section:
 - Nome: [Text input field]
 - Email: [Text input field]
 - Telefones: [Text input field]
 - Organização: [Text input field]
- Obs: [Large text area]
- Buttons: Gravar (with a checkmark icon) and Fechar (with a close icon)

FIGURA 20 - TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA PROJETO
FONTE: O autor (2014).

The screenshot shows the same software window, but with the 'Localização' tab active. The fields and controls are as follows:

- Tab bar: Projeto | Localização | Dados do Povoamento | Dados da árvore | Imagens
- País: [Text input field with 'Brasil' entered]
- UF: [Text input field]
- Município: [Text input field]
- Local: [Text input field]
- Talhão: [Text input field]
- Latitude: [Text input field]
- Longitude: [Text input field]
- Organização detentora da área: [Text input field]
- Buttons: Gravar (with a checkmark icon) and Fechar (with a close icon)

FIGURA 21- TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA LOCALIZAÇÃO
FONTE: O autor (2014).

Projeto

Projeto | Localização | Dados do Povoamento | Dados da árvore | Imagens

Idade do Povoamento (anos):

Tipologia Floresta:

Precipitação Média Anual (mm):

Precipitação média mensal período seco (mm):

Precipitação média mensal período chuvoso (mm):

Meses Período seco:

Meses Período Chuvoso:

Tipos de solo:

Relevos:

Mortalidade:

Histórico da floresta:

FIGURA 22- TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA DADOS DO POVOAMENTO

FONTE: O autor (2014).

Projeto

Projeto | Localização | Dados do Povoamento | Dados da árvore | Imagens

Número:

Gênero:

Espécie:

Variedade:

Procedência:

Data de Plantio:

Data de Corte:

Data de Coleta:

Altura total (m):

DAP (cm):

CAP (cm):

CIF:

IC:

Dominância:

FIGURA 23- TELA DE CADASTRO DE PROJETOS – ABA DADOS DA ÁRVORE

FONTE: O autor (2014).

4.2.3 Vinculação de Imagens

Uma vez cadastrado um projeto, o usuário deve vincular as imagens ao escopo do mesmo. Este procedimento é feito ao se clicar no botão (+), no painel “Imagens”, do formulário “Projetos” (FIGURA 19), onde é criado o formulário para cadastramento de imagens vinculadas ao projeto ativo, conforme pode ser observado na (FIGURA 24).



FIGURA 24- FORMULÁRIO PARA VINCULAR UMA IMAGEM AO PROJETO ATIVO

FONTE: O autor (2014).

O botão [...] abre caixa de diálogo do sistema operacional para localização da imagem. Uma vez localizada a imagem, a altura da seção, em metros, deve ser fornecida.

4.2.4 Espaços de Trabalho

Uma vez escolhido o projeto, são mostradas as respectivas imagens no painel “Imagens” (FIGURA 19). Ao executar o duplo clique na linha de uma imagem, criam-se os formulários referentes aos Espaços de Trabalho para o cadastramento dos anéis de crescimento.

4.2.4.1 Espaço Cartesiano

O formulário para o Espaço Cartesiano é o primeiro a ser criado após a vinculação de uma imagem ao projeto ativo. Neste espaço são habilitadas as funcionalidades: definição das coordenadas do centro da medula, definição das coordenadas da posição relativa no norte magnético em relação à fatia, definição do

fator de escala, magnificação (*zoom*) e geração do formulário contendo a imagem transformada para o sistema polar (FIGURA 25).

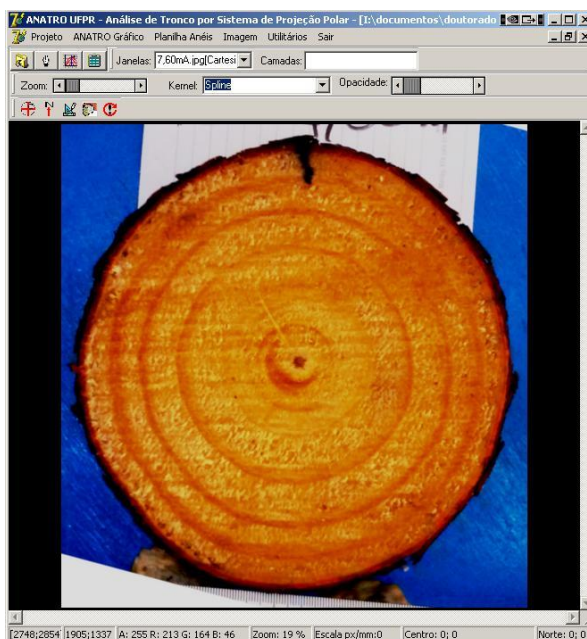


FIGURA 25- FORMULÁRIO DO ESPAÇO CARTESIANO COM FATIA DE *Pinus taeda*, MADEIRA VERDE, EXTRAÍDA A 7,60m COM MAGNIFICAÇÃO DE 19%
FONTE: O autor (2014).

Nota-se que no rodapé encontram-se informações auxiliares ao operador do sistema na seguinte ordem, da esquerda para a direita:

- tamanho da imagem em *pixel* (comprimento, largura);
- coordenadas relativas da posição do *mouse* na imagem;
- padrão RGB do *pixel* da imagem original onde está o *mouse*;
- nível de magnificação percentual em relação ao tamanho real da imagem;
- escala em *pixel/mm*;
- coordenadas cartesianas do centro da medula;
- coordenadas cartesianas da posição relativa do Norte em relação à fatia.

A localização do centro da medula e da posição referencial do norte magnético na fatia é feita pelo operador, com o auxílio da ferramenta de magnificação para aumentar a precisão, clicando com o cursor do mouse na posição desejada.

Na (FIGURA 26) são apresentadas três imagens referentes à mesma fatia. Na imagem (a) é mostrada a fatia original com magnificação de 20%; na imagem (b) é mostrada a medula com magnificação de 352%; e na imagem (c), com

magnificação de 20%, são mostrados o centro da medula, o norte e a linha ligando ambos.

Nota-se, em (b), que ao ampliar a imagem, utilizando-se a ferramenta de magnificação em 352%, a localização das coordenadas referentes ao centro da medula pode ser obtida com maior precisão, se comparada com (a).

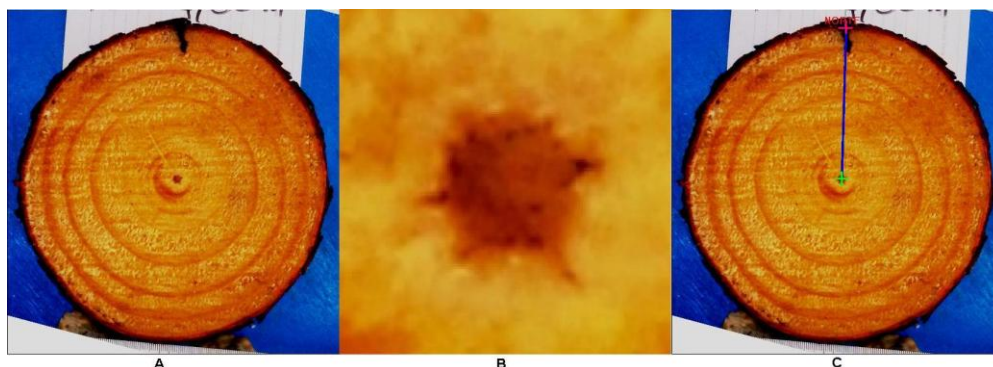


FIGURA 26 - IMAGENS DE *Pinus taeda*, MADEIRA VERDE, EXTRAÍDA A 7,60m
FONTE: O autor (2014).

O Fator de Escala, em pixel/mm , é obtido pela escolha de dois pontos na imagem, cuja distância em milímetros é conhecida (FIGURA 27).

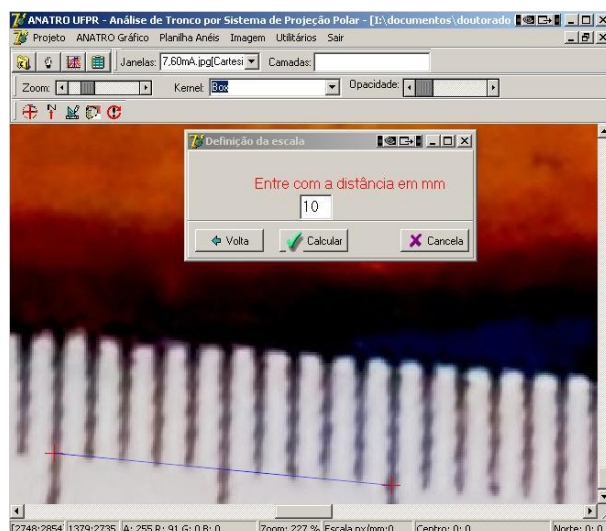


FIGURA 27- FORMULÁRIO DO ESPAÇO CARTESIANO, COM A FUNCIONALIDADE DE DEFINIÇÃO DO CÁLCULO DO FATOR DE ESCALA
FONTE: O autor (2014).

Observa-se que foram definidos dois pontos, na porção da imagem que contém parte da régua de escala (1/100), a qual foi posicionada junto à borda da superfície superior da fatia e o formulário solicitando a distância equivalente em

milímetros. Ao clicar sobre o botão “Calcular”, o Fator de Escala é calculado e armazenado como atributo da imagem.

A localização precisa do centro da medula e a definição do fator de escala definirão a acurácia do cálculo das áreas transversais e das demais variáveis dendrométricas.

A geração do Espaço Polar, Espaço Cartesiano Reconstituído e demais ferramentas só serão gerados e disponibilizados após a definição do centro, norte e fator de escala.

4.2.4.2 Espaço Polar

Neste Espaço de Trabalho estão disponibilizadas as funcionalidades de definição do posicionamento do Maior Raio, escolha do método para cálculo dos polígonos, definição da posição dos anéis, definição da posição dos raios – para o método múltiplos raios, e habilitação da camada de reconhecimento semiautomático dos anéis.

A (FIGURA 28) exemplifica o formulário utilizado para o Espaço Polar, no ANATRO UFPR. Nela está a imagem de uma fatia, a mesma constante nas (FIGURAS 25 e 26), transformada para o sistema polar. Esta imagem representa 360°, em torno do centro da medula, o qual está localizado na primeira linha da margem superior da imagem. O método utilizado foi o de medição ao longo de oito raios. Observa-se que a localização da intersecção dos anéis com os raios está demarcada pelo triângulo vermelho, a localização do Maior Raio está marcada pelo triângulo amarelo, e o ponto ativo está em verde claro.

Ressalta-se que os anéis de crescimento tenderam a ficar paralelos à margem superior.

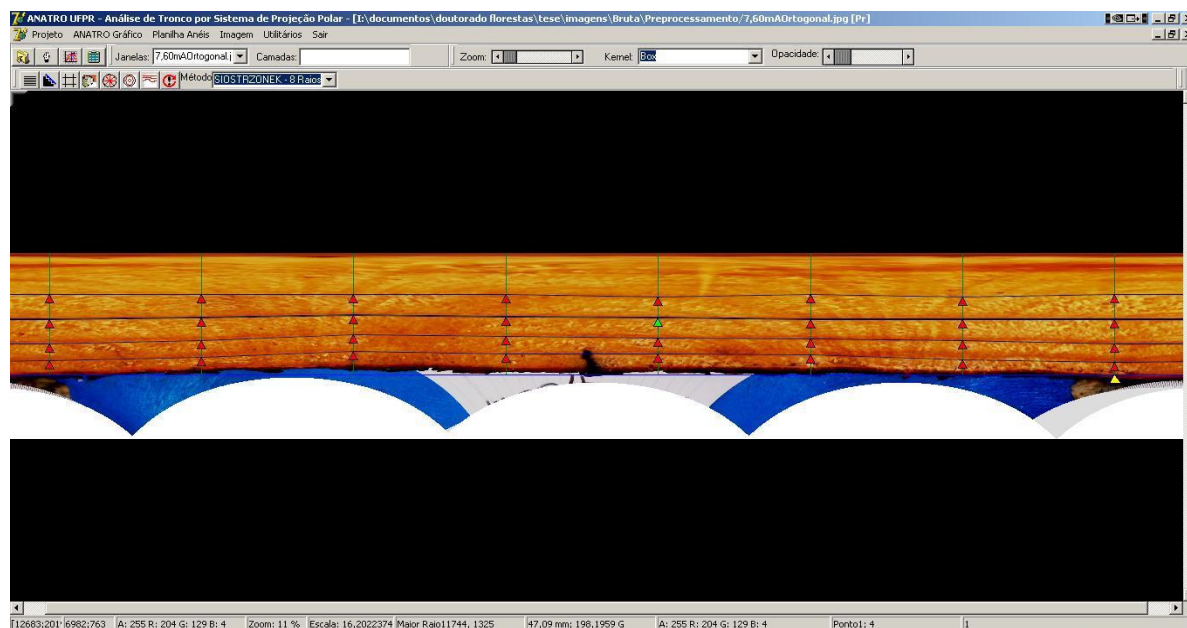


FIGURA 28 - FORMULÁRIO COM IMAGEM DE FATIA DE *Pinus taeda*, EXTRAÍDA A 7,60m, MADEIRA VERDE, TRANSFORMADA PARA O SISTEMA POLAR, MÉTODO MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS
FONTE: O autor (2014).

No rodapé estão as seguintes informações:

- a) tamanho da imagem em *pixels* (comprimento, largura);
- b) coordenada cartesiana do *mouse* em relação à imagem;
- c) cor do *pixel* da imagem sobre o qual está o *mouse*, em RGB;
- d) percentual de magnificação em relação ao tamanho original da imagem;
- e) escala em *pixel/mm*;
- f) coordenadas cartesianas do Maior Raio;
- g) coordenadas polares da posição do *mouse*;
- h) cor do *pixel* da máscara sobre o qual são desenhadas as linhas;
- i) indicação sobre o número do anel e a posição do ponto no anel, quando o *mouse* está sobre um ponto. Indica “vazio” quando não está sobre um ponto;
- j) indicação sobre o número do anel ativo.

4.2.4.2.1 Reconhecimento visual dos anéis de crescimento com vetorização manual

O procedimento proposto de se gerar uma linha ao localizar o primeiro ponto de um anel de crescimento e depois fazer o ajuste da linha definindo-se os demais

pontos mostrou-se eficiente, com a diminuição do tempo de vetorização, se comparado com os procedimentos utilizados pelo *software* ArcGIS®.

Nos métodos de medição ao longo de quatro raios, oito raios e múltiplos raios, ao se localizar o primeiro ponto de um anel de crescimento é gerada automaticamente uma linha perpendicular aos raios pré-definidos, contendo pontos na intersecção entre ambos (linha e raio). Quaisquer movimentações destes pontos só ocorrerão ao longo dos eixos dos raios. Para a exclusão de uma linha, neste caso, basta excluir um dos pontos desta linha. Na (FIGURA 29) são mostrados os pontos definidos ao longo dos raios. Observa-se que a linha ativa está realçada e o ponto ativo está em verde claro. Este procedimento de realce mostrou-se útil para mostrar ao operador qual a linha que será ajustada ao se definir o ponto.

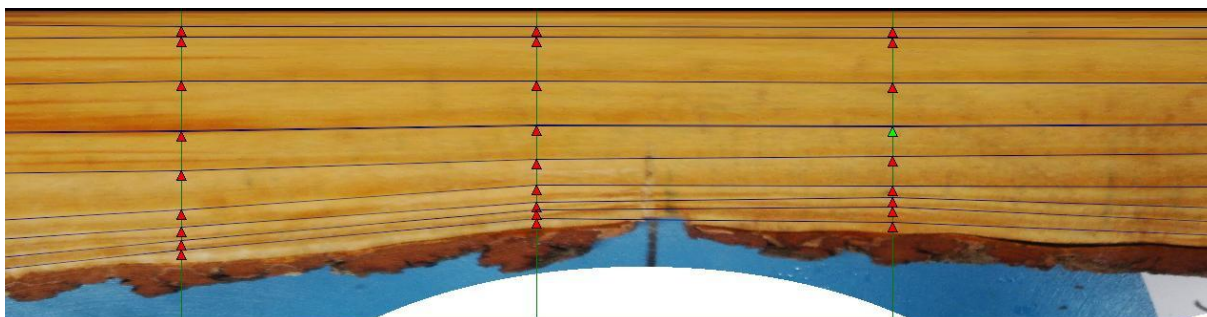


FIGURA 29– IMAGEM PARCIAL NO ESPAÇO POLAR DOS PONTOS REFERENTES AOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO MÉTODO DE MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS.

FONTE: O autor (2014)

No método de vetorização completa do anel de crescimento, ao se localizar o primeiro ponto de um anel de crescimento é gerada uma linha perpendicular ao Maior Raio, com um ponto definido na intersecção de ambos. Na (FIGURA 30), em (a), são mostrados os pontos, ao longo do Maior Raio, referentes aos anéis de crescimento, cujas linhas não foram ajustadas. Em (b), é apresentado um anel de crescimento parcialmente vetorizado – a linha está ajustada ao longo do anel de crescimento. Uma vez definido o ponto, este pode ser excluído ou movimentado, para um melhor ajuste. Para a exclusão de uma linha, neste caso, todos os pontos desta linha, devem ser excluídos.

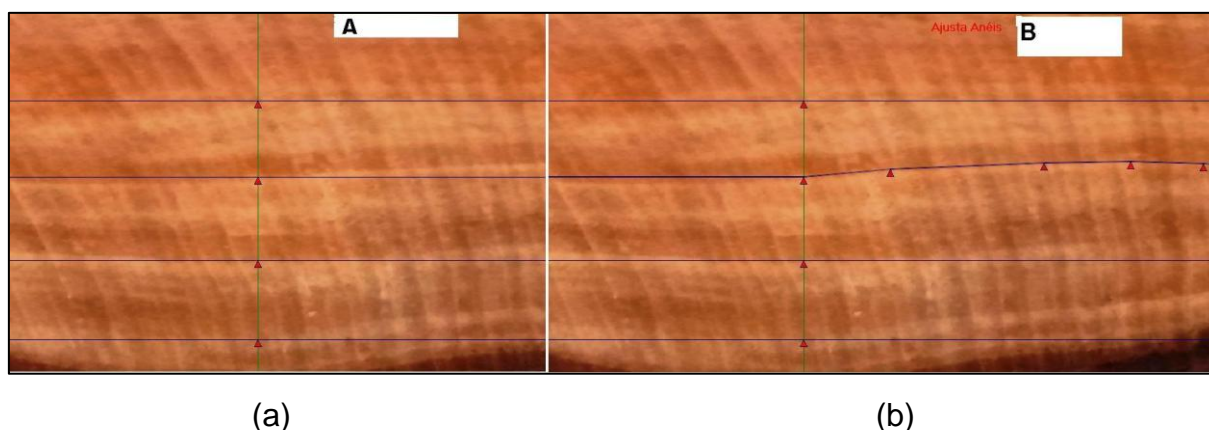


FIGURA 30 - LOCALIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO AO LONGO DO MAIOR RÁDIO (a); PARTE DE ANEL DE CRESCIMENTO COM OS PONTOS DE VETORIZAÇÃO E RESPECTIVA LINHA AJUSTADA (b)
FONTE: O autor (2014).

4.2.4.2.2 Reconhecimento semi-automatizado dos anéis de crescimento

O procedimento de reconhecimento semi-automatizado dos anéis de crescimento gera uma camada (*layer*), sobre a imagem do Espaço Polar, contendo as bordas dos anéis de crescimento, que podem ser utilizadas como auxílio ao operador no processo de vetorização completa dos anéis de crescimento.

O resultado deste método, pela passagem do filtro de mediana 5x5 duas vezes e a detecção de bordas por gradiente, pode observado na (FIGURA 31).

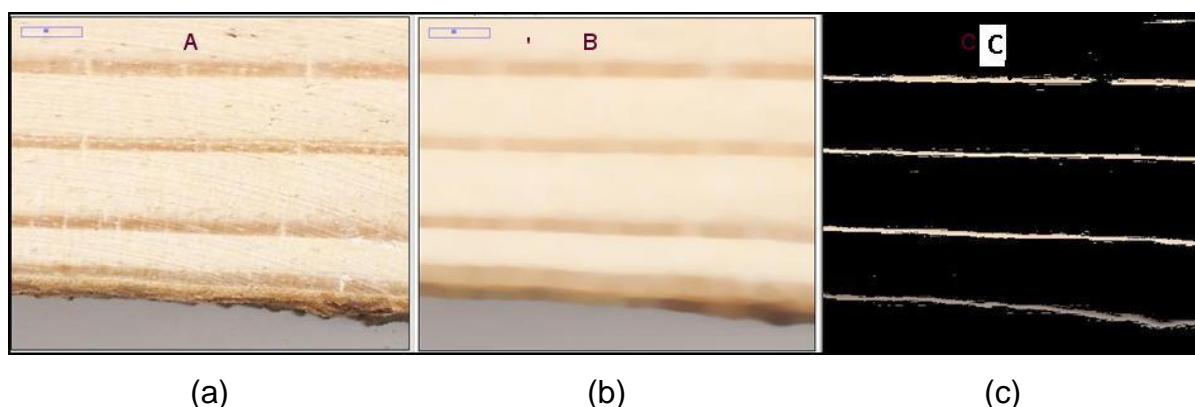


FIGURA 31 - IMAGEM ORIGINAL (a), IMAGEM PROCESSADA COM FILTRO DE MEDIANA 5X5, DUAS PASSAGENS (b) E DETECÇÃO DE BORDAS (c)
FONTE: O autor (2014).

Este processo demonstrou-se útil no auxílio da identificação da localização das bordas dos anéis de crescimento.

4.2.4.3 Espaço Cartesiano Reconstituído

O Espaço Cartesiano Reconstituído é criado concomitantemente ao Espaço Polar. É utilizado para o cálculo das áreas transversais dos anéis de crescimento por meio da criação dos polígonos, como também como um auxiliar na visualização pelo operador para reconhecimento dos anéis de crescimento.

O centro da medula está localizado no centro da imagem.

Neste espaço são criadas duas camadas sobrepostas: camada dos polígonos (FIGURA 32) e camada de vetorização dos anéis de crescimento e com os respectivos raios (FIGURA 33).

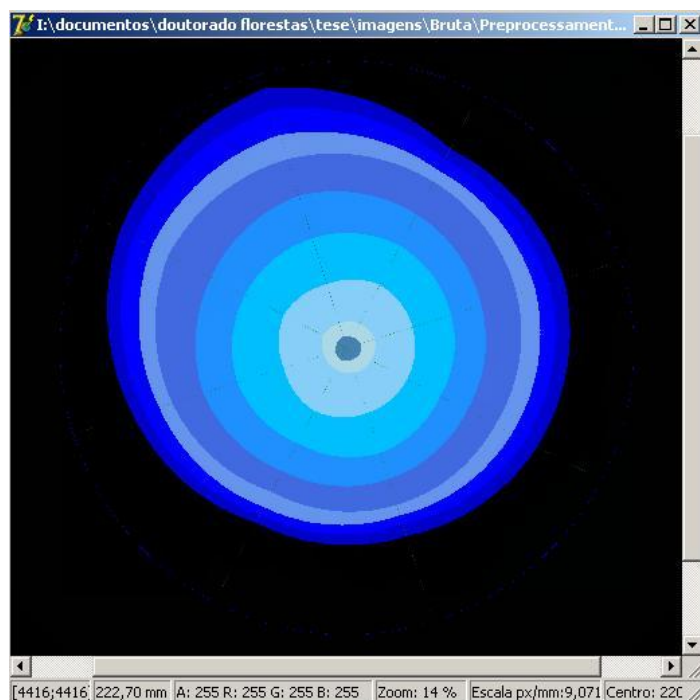


FIGURA 32- CAMADA COM OS POLÍGONOS REFERENTES AOS ANÉIS DE CRESCIMENTO
FONTE: O Autor (2014).

Cada polígono refere-se a um anel de crescimento é representado por uma cor.

Na (FIGURA 33), utilizando-se o método de medição ao longo de oito raios, observa-se que o traçado das linhas que ligam os pontos entre os raios são segmentos de arco e tendem a ficar próximos às bordas dos anéis de crescimento. Verifica-se, em azul, a camada com vetores dos anéis de crescimento; em amarelo os raios; e em azul a circunferência externa obtida pelo Maior Raio.



FIGURA 33– IMAGEM DE *Pinus taeda*, NO ESPAÇO CARTESIANO RECONSTITUÍDO, MÉTODO DE MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS

FONTE: O Autor (2014).

As informações do rodapé são as mesmas constantes no Espaço Cartesiano.

4.2.4.3.1 Planilha de cálculo de área transversal

Esta planilha é parte integrante do Espaço Cartesiano Reconstituído e é utilizada como instrumento auxiliar no monitoramento da eficácia no reconhecimento dos anéis (FIGURA 34). O usuário pode optar pela apresentação dos dados em *pixels*, milímetros ou em centímetros.

A geração da tabela, contendo as variáveis dendrométricas e as áreas dos anéis de crescimento, é atualizada em tempo de execução no momento em que são atualizados os pontos de vetorização dos anéis de crescimento no Espaço Polar.

Seu uso foi útil na validação, em tempo de execução, dos procedimentos de reconhecimento e vetorização que estavam sendo executados.

Planilha																					
		Escala (px/mm)		Medida		Altura (m)															
		9,0710766799		mm		0															
Anéis	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	xA	xG	xQ	xRaioPx	xÁrea	xGÁrea	xQÁrea	PxÁrea	Dif xA	Dif xG	Dif xQ	linha	borda
-9	7.3861	8.1578	8.2680	6.9452	6.9452	6.3939	6.9452	7.8271	7.358553	7.332054	7.385085	7.384382	170.111916	168.889913	171.340824	171.308225	0.703248	1.432487	-0.019026	575	0
-8	15.2132	15.8746	16.9770	15.8746	14.7722	15.8746	13.8903	14.1108	15.323429	15.292826	15.353933	15.347808	737.669448	734.725893	740.609283	740.018475	0.318439	0.720348	-0.079773	1165	0
-7	39.9071	39.6866	40.1275	41.5607	39.0251	41.5607	38.6944	41.5607	40.265341	40.250969	40.280119	40.272920	5.093.457018	5.089.720307	5.097.196239	5.095.374534	0.037647	0.111091	-0.035739	2904	0
-6	64.6009	61.5142	63.9395	67.3569	67.3569	67.3569	62.8371	65.289934	65.251590	65.327890	65.321589	13.391.904239	13.376.179025	13.407.479160	13.404.892899	0.096989	0.214664	-0.019290	4515	0	
-5	80.6960	79.3732	82.4599	88.1924	93.4839	89.6255	88.1924	81.5780	85.450165	85.319160	85.582072	85.564696	22.939.063579	22.868.780872	23.009.938771	23.000.596236	0.268244	0.576399	-0.040602	5815	0
-4	96.5707	97.8936	104.2875	109.7995	115.9730	117.9573	107.3742	95.1375	105.624176	105.310279	105.939203	105.901514	35.049.073390	34.841.063301	35.258.454888	35.233.371913	0.525830	1.125995	-0.071140	7119	0
-3	102.9646	108.9176	115.5320	116.8549	130.9657	128.9814	115.5320	105.2797	115.628501	115.241367	116.021098	115.967179	42.002.937548	41.722.149770	42.288.649756	42.249.352762	0.586662	1.263605	-0.092926	7640	0
-2	108.4766	117.7369	124.4615	124.4615	146.6199	140.9976	124.4615	110.4610	124.709662	124.092611	125.339785	125.244096	48.859.540780	48.377.310159	49.354.614204	49.279.285217	0.859084	1.864459	-0.152628	8194	0
-1	115.7525	125.6742	133.3910	131.4067	159.6282	149.8168	131.4067	115.5320	132.826019	132.072935	133.601619	133.470355	55.426.337630	54.799.617810	56.075.520319	55.965.385926	0.972549	2.127329	-0.196404	8661	0

FIGURA 34 - PLANILHA AUXILIAR PARA VERIFICAÇÃO DO CÁLCULO DAS ÁREAS TRANSVERSAIS

FONTE: O autor (2014).

NOTA: R1 a R8 – Posição dos anéis de crescimento nos raios; xA – média aritmética dos raios; xG – média geométrica dos raios; xQ – média quadrática dos raios; xRaioPx – Raio médio calculado em função da área transversal PxÁrea; xÁrea – Área transversal calculada por xA; xGÁrea – Área transversal calculada por xG; xQÁrea – Área transversal calculada em função de xQ; PxÁrea – Área obtida pela contagem de *pixels* do polígono; DifxA – diferença percentual entre xAÁrea e PxÁrea; DifxG – diferença percentual entre xGÁrea e PxÁrea; DifxQ – diferença percentual entre xQÁrea e PxÁrea; tlinha – tamanho em *pixels* da linha de borda.

4.2.5 ANATROGráfico

O ANATROGráfico é uma ferramenta interativa onde o usuário visualiza, em tempo de execução, o perfil longitudinal do fuste de uma árvore, e respectivos anéis de crescimento por idade, obtidos pelo raio médio. Sendo sincronizado com os Espaços de Trabalho, quaisquer alterações na vetorização dos anéis de crescimento resulta em atualização do perfil longitudinal no ANATROGráfico.

A ferramenta mostrou-se útil como auxiliar na identificação e localização de anéis de crescimento, em especial àqueles próximos à medula.

O reconhecimento dos anéis de crescimento nas imagens foi efetuado de forma visual quando a transição entre os lenhos outonal e primaveril ocorriam de forma abrupta. Mas em diversas ocasiões, os anéis próximos à medula só puderam ser identificados com a utilização do Espaço Polar juntamente com a visualização do Espaço Cartesiano Reconstituído e com o ANATROGráfico. Nestes casos, os anéis de crescimento foram identificados através da mudança de textura da imagem, corroborando com Rosot (2002).

Observou-se, no entanto, que, em muitas fatias, identificou-se a medula como anel de crescimento. A diferenciação só foi possível com o uso do ANATROGráfico, onde verificou-se que haviam, em diversas fatias, anéis de

crescimento, próximos ao centro, com as mesmas medidas de raio médio (4,7 mm). Estes, portanto, foram descartados como anéis e considerados como limite da medula.

A interface do ANATROGráfico (FIGURA 35) permite selecionar o desenho do perfil longitudinal da árvore e o método de cálculo de altura dos anéis, além de oferecer a opção de mostrar os rótulos dos pontos e o Maior Raio.

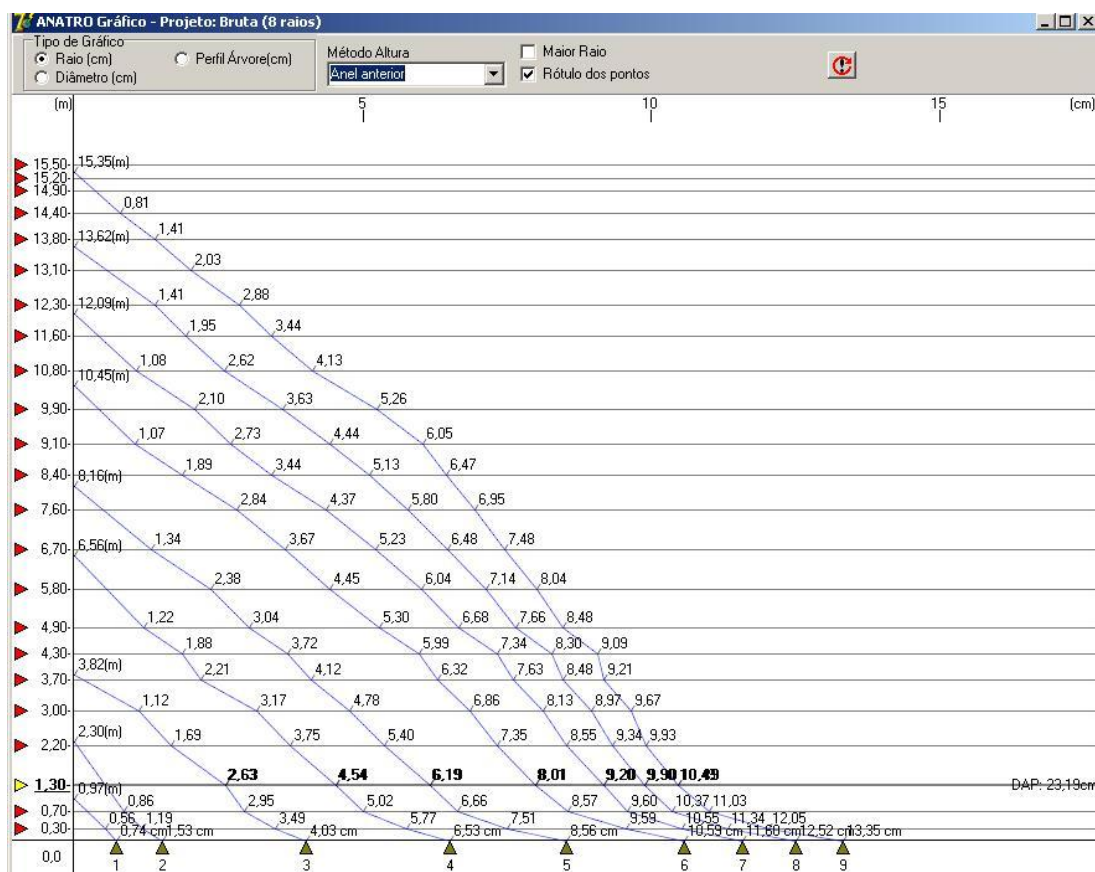


FIGURA 35- ANATROGRÁFICO DO PERFIL LONGITUDINAL DO FUSTE DE UMA ÁRVORE, COM REALCE DAS MEDIÇÕES MÉDIAS DOS RAIOS AO DAP
FONTE: O autor (2014).

O módulo de ANATROGráfico possui as seguintes interações com o usuário:

- no eixo da altura, ao posicionar o *mouse* sobre as setas, em vermelho, os rótulos dos pontos naquela altura aparecem em negrito, e a seta em questão fica amarela;
- no eixo da altura, ao efetuar o duplo clique sobre uma das setas, a imagem referente àquela altura é aberta;
- no eixo das idades, ao se passar o mouse sobre uma seta, são realçadas as medidas do anel de crescimento referente àquela idade.

4.2.6 Planilha de variáveis dendrométricas do projeto

Este formulário está sincronizado com os Espaços de Trabalho, sendo atualizado a qualquer mudança nos dados dos anéis de crescimento.

A interface possui as funcionalidades da escolha das variáveis dendrométricas que serão mostradas na planilha e do método de cálculo do volume (Smalian e Tronco de Cone), além da possibilidade de exportação dos dados em formato CSV (valores separados por vírgula) permitindo que sejam utilizados por outro aplicativos como o MS EXCEL (FIGURA 36).

No campo *Árvores/ha* o valor pré-definido é um (1). A alteração do valor deste campo altera os valores da coluna *Árv/ha*, resultando na atualização da planilha, permitindo a simulação de uma tabela de produção, onde a árvore, objeto da ANATRO, é considerada a árvore padrão.

Idade (Anos)	Árv/ha	DAP (cm)	ICAdap	IMADap	g (m ²)	ICAG	IMAG	h (m)	ICah	IMah	Volume m ³	ICav	IMav	FF	FFH
1	1	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,9738833900	0,9738833900	0,9738833900	0,0000622403	0,0000622403	0,0000000000	0,4404454200	
2	1	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	2,2968152000	1,3229318000	1,1484076000	0,0004388518	0,0003766115	0,0002194259	0,0000000000	0,3750202400
3	1	5,2569966000	5,2569966000	1,7523322000	0,0021705274	0,0021705274	0,0007235091	3,8151899000	1,5183737000	1,2717296000	0,0061300271	0,0056311753	0,0020433424	0,7402545200	0,4481140400
4	1	9,0899839000	3,8329873000	2,2724960000	0,0064895730	0,0043190457	0,0016223933	6,5558295000	2,7406406000	1,6389574000	0,0226784760	0,0165484490	0,0056696190	0,5330526200	0,4230712100
5	1	12,3826720000	3,2926884000	2,4765345000	0,0120425560	0,0055529829	0,0024085112	8,1589890000	1,6031594000	1,6317978000	0,0492014330	0,0265229570	0,0098402865	0,5007520900	0,4450609100
6	1	16,0252130000	3,8425409000	2,6708689000	0,0201696140	0,0081270579	0,0033616023	10,4460690000	2,2870798000	1,7410115000	0,1017678800	0,0525664500	0,0169613140	0,4830146700	0,4558208900
7	1	18,4014660000	2,3762531000	2,6287809000	0,0265946800	0,0064250659	0,0037992400	12,0920620000	1,6459932000	1,7274374000	0,1498559900	0,0480881040	0,0214079980	0,4659925700	0,4598691800
8	1	19,7992650000	1,3977985000	2,4749081000	0,0307884640	0,0041937847	0,0038485581	13,6225250000	1,5304632000	1,7028157000	0,1981309200	0,0482749340	0,0247663650	0,4723964300	0,4761334700
9	1	20,9776860000	1,1784210000	2,3308540000	0,0345624910	0,0037740264	0,0038402768	15,3516320000	1,7291069000	1,7057369000	0,2512971200	0,0531661960	0,0279219020	0,4736177300	0,4871435200

FIGURA 36 - PLANILHA CONTENDO AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS POR IDADE DE UMA ÁRVORE.

FONTE: O autor (2014)

4.2.7 Ambiente de Trabalho computacional

O *software* ANATRO UFPR foi compilado para ser executado no sistema operacional Windows XP SP2 ou superior, utilizando o banco de dados MS SQL Server 2005 Express, que é gratuito.

Observou-se, para a realização da ANATRO, a necessidade de dois monitores para possibilitar a visualização de todas as ferramentas utilizadas para o reconhecimento dos anéis de crescimento.

Na (FIGURA 37), no monitor à esquerda, está a tela principal com o formulário para o Espaço Polar. No monitor à direita encontram-se abertos os

formulários do Espaço Cartesiano Reconstituído (canto superior esquerdo), o ANATROGráfico (canto superior direito), a planilha das medidas dos anéis de crescimento (canto inferior esquerdo) e Planilha de Variáveis dendrométricas (canto inferior direito).

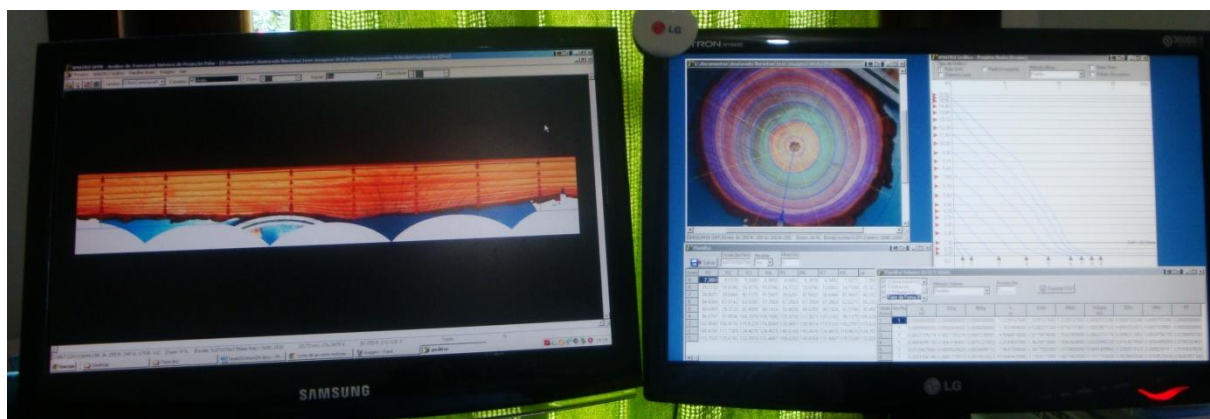


FIGURA 37- UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR PARA PROCESSAMENTO COM DOIS MONITORES

FONTE: O autor (2014).

Para esta configuração, recomenda-se a utilização de computador contendo placa de vídeo com duas entradas ou duas placas de vídeo, com monitores digitais (LED ou similares), com resolução de tela igual ou superior a 1.024 x 728 *pixel*.

4.3 VALIDAÇÃO DO CÁLCULO DA ÁREA TRANSVERSAL POR MEIO DA CONTAGEM DE *PIXELS*

A validação da metodologia de cálculo da área transversal pela contagem de *pixels* em um polígono foi efetuada utilizando-se círculos com raios de diferentes tamanhos plotados em imagens. Estes círculos foram gerados no Espaço Polar, e as áreas, calculadas no Espaço Cartesiano Reconstituído, pelo método proposto.

A (TABELA 1) mostra a comparação dos resultados da área calculada pela fórmula de área de círculo (R^2), com os valores obtidos pelo método proposto de contagem de *pixels*.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS CALCULADAS EM CÍRCULOS DEFINIDOS POR RAIOS EM *PIXELS*

RAIO (a)	RAIO (b)	DIFERENÇA (c)	ÁREA (d)	ÁREA (e)	DIFERENÇA (f)
5	5,04626	0,925301	78,5398	80	1,859164
10	10,02925	0,292534	314,1593	316	0,585913
15	15,09668	0,644562	706,8583	716	1,293279
20	20,05851	0,292534	1.256,6370	1.264	0,585923
30	30,00301	0,010019	2.827,4330	2.828	0,020040
40	39,98986	-0,025351	5.026,5480	5.024	-0,050696
50	50,01915	0,038307	7.853,9820	7.860	0,076628
60	59,98479	-0,025351	11.309,7300	11.304	-0,050696
70	69,97316	-0,038347	15.393,8000	15.382	-0,076680
80	80,00757	0,009467	20.106,1900	20.110	0,018935
90	90,01255	0,013949	25.446,9000	25.454	0,027899
100	100,01600	0,016031	31.415,9300	31.426	0,032065
200	200,00820	0,004096	125.663,7000	125.674	0,008192
300	300,02160	0,007190	282.743,3000	282.784	0,014381
400	399,99970	-0,000082	502.654,8000	502.654	-0,000164
500	500,00380	0,000754	785.398,2000	785.410	0,001507
600	600,01080	0,001797	1.130.973,0000	1.131.014	0,003594
700	699,99540	-0,000663	1.539.380,0000	1.539.360	-0,001325
800	800,00710	0,000888	2.010.619,0000	2.010.655	0,001776
900	899,99610	-0,000433	2.544.690,0000	2.544.668	-0,000866
1.000	1.000,0070	0,000706	3.141.593,0000	3.141.637	0,001412
1.100	1.099,9970	-0,000317	3.801.327,0000	3.801.303	-0,000634
1.200	1.200,0030	0,000238	4.523.893,0000	4.523.915	0,000477
1.300	1.300,0020	0,000192	5.309.292,0000	5.309.312	0,000385
1.400	1.400,0050	0,000377	6.157.522,0000	6.157.568	0,000754
1.500	1.500,0030	0,000174	7.068.583,0000	7.068.608	0,000347
1.600	1.600,0010	0,000086	8.042.477,0000	8.042.491	0,000172
1.700	1.699,9980	-0,000142	9.079.203,0000	9.079.177	-0,000284
1.800	1.799,9980	-0,000109	10.178.760,0000	10.178.738	-0,000218
1.900	1.899,9990	-0,000064	11.341.149,0000	11.341.135	-0,000128
2.000	2.000,0050	0,000256	12.566.371,0000	12.566.435	0,000512

FONTE: O autor (2014).

Nota: (a) – Raio em *pixels*, (b) - Raio calculado em função da área (e), (c) – Diferença percentual relativa (bxa), (d) – Área de um círculo com raio (a); (e) Área por contagem de *pixels*, (f) – diferença percentual relativa (e x d).

Observa-se que o erro diminui com o afastamento do centro. Para um círculo, cujo raio é de cinco *pixels*, a área calculada é de 78,5 *pixels*, mas a área obtida pela contagem de *pixels* foi de 80 *pixels*. Portanto uma diferença de 1,5 *pixels* a maior, ou 1,85%. Para um círculo com raio de 2.000 *pixels*, a área calculada é de 12.566.371 *pixels* e a área obtida por contagem de *pixels* foi 12.566.435 *pixels*, apresentando uma diferença de 64 *pixels*, ou 0,000512%.

Na (TABELA 2), onde os comprimentos dos raios em *pixels* foram separados em classes, verifica-se que, para os raios com até 20 *pixels* próximos ao centro, a média das diferenças foi de $1,08 \pm 0,616658\%$, chegando-se à média de $0,000138 \pm 0,000436\%$ nos raios maiores que 1.000 *pixels*. Portanto, as maiores diferenças ocorrem próximas à medula, nos primeiros 20 *pixels* no seu entorno.

TABELA 2 - CLASSE DE RAIOS EM *PIXELS* E RESPECTIVAS MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E ERROS PADRÃO DOS ERROS PERCENTUAIS DA ÁREA POR CONTAGEM DE *PIXELS* EM RELAÇÃO À ÁREA REAL

Classe de raios (<i>pixels</i>)	Média	Desvio padrão	Erro padrão
5-20	1,081073	0,616658	0,308329
30-300	0,002007	0,046776	0,014792
400-1000	0,000847	0,001724	0,000652
1100-2000	0,000138	0,000436	0,000138

FONTE: O autor (2014).

Considerando-se as imagens obtidas neste projeto de pesquisa de *Pinus taeda* e os respectivos fatores de escala (*pixel/mm*), conforme pode ser observado na (TABELA 3), pode-se estimar a diferença entre a área calculada e a área por contagem de *pixel*, em cm^2 . Neste caso, utilizou-se o menor fator de escala, 7,818568 *pixel/mm* (altura 0 m, madeira seca) e o maior fator de escala, 45,452503 *pixel/mm* (altura 15,5m, madeira seca), para dois círculos com raios de 20 e 2.000 *pixels* (TABELA 4).

TABELA 3 – ESCALA EM *pixel/mm* DAS IMAGENS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, POR ALTURA, DA MADEIRA VERDE E DA MADEIRA SECA DE *Pinus taeda*

Altura (m)	Escala (<i>pixel/mm</i>)	
	MADEIRA SECA	MADEIRA VERDE
0,0	7,818568	9,071077
0,3	9,441001	8,870722
0,7	9,321957	9,734760
1,3	9,624303	9,862924
2,2	10,793696	11,724658
3,0	10,996236	11,658688
3,7	11,046959	11,751596
4,3	13,226396	13,093265
4,9	13,348225	12,582230
5,8	12,956002	12,440257
6,7	15,382119	14,640317
		continua

TABELA 3 – ESCALA EM *pixel/mm* DAS IMAGENS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, POR ALTURA, DA MADEIRA VERDE E DA MADEIRA SECA DE *Pinus taeda*

conclusão

Altura (m)	Escala (<i>pixel/mm</i>)	
	MADEIRA SECA	MADEIRA VERDE
7,6	15,538391	16,202237
8,4	14,988709	15,930552
9,1	17,972290	18,033095
10,8	21,561540	22,672726
11,6	26,431400	22,197579
12,3	26,560544	22,044160
13,1	37,155350	22,136508
13,8	39,293765	21,935274
14,4	45,265660	21,902055
14,9	45,045399	21,794724
15,2	44,846962	22,479614
15,5	45,452503	22,068765

FONTE: O autor (2014).

Observa-se, na (TABELA 4), que as diferenças entre as áreas calculadas e as obtidas por contagem de *pixels* são 0,00120 cm² para um círculo com raio de 0,2558 cm e área 0,20557cm², e 0,01053 cm² para um círculo com raio de 25,58 cm e área de 2.055,68 cm²; o que demonstra a factibilidade do uso do método de obtenção da área por contagem de *pixels*.

Quanto maior a densidade de *pixel/mm* mais preciso será o cálculo da área por contagem de *pixels*.

TABELA 4 – RAIOS (cm) E ÁREAS (cm²) DE DOIS CIRCULOS PARA DIFERENTES FATORES DE ESCALA (*PIXEL/mm*)

Raio (<i>pixel</i>)	Fator de escala (<i>pixel/mm</i>)	RAIO (cm)	RAIO POR CONTAGEM DE <i>PIXELS</i> (cm)	ÁREA CALCULADA (cm ²)	ÁREA POR CONTAGEM DE <i>PIXELS</i> (cm ²)	Diferença (cm ²)
20	7,818568	0,25580	0,25655	0,20557	0,20677	0,00120
	45,452500	0,04400	0,04413	0,00608	0,00612	0,00004
2000	7,818568	25,58013	25,58020	2055,67960	2.055,69014	0,01053
	45,452500	4,40020	4,40021	60,82670	60,82701	0,00031

FONTE: O autor (2014).

4.4 COMPARAÇÃO ANATRO UFPR x VETORIZAÇÃO EM SIG

Na comparação entre os resultados de Rosot (2002), cujas áreas transversais foram calculadas com o *software* de geoprocessamento ArcGIS®, e os obtidos pelo ANATRO UFPR, ambos utilizando a vetorização completa de 30 imagens de seções transversais de *Pinus elliotii*, madeira seca e lixada, foi constatado que o número de anéis reconhecidos foi idêntico em todas as idades.

Os volumes obtidos (TABELA 5) pelo ANATRO UFPR foram, em média, $0,50 \pm 0,26\%$ menores que os obtidos com o ArcGIS®. As diferenças observadas são resultantes de:

- a) diferenças no fator de escala obtido para as imagens;
- b) método de cálculo de área transversal, que diferem entre si; no ArcGIS® o polígono gerado é composto por segmentos de reta e a área é calculada por triangulação, enquanto que no ANATRO UFPR o polígono gerado é composto por segmentos de arco e a área é calculada por contagem de *pixels*;
- c) diferenças na vetorização das bordas (localização dos pontos).

TABELA 5 – VOLUMES (m³) OBTIDOS POR VETORIZAÇÃO COMPLETA EM ArcGIS® E ANATRO UFPR, E RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS RELATIVAS

Idade (Anos)	VOLUME (m ³)		
	ArcGIS® (Rosot)	ANATRO UFPR	DIFERENÇA %
1	0,0000898	0,0000890	-0,9075724
2	0,0005313	0,0005282	-0,5904385
3	0,0032098	0,0032044	-0,1681880
4	0,0096097	0,0095331	-0,7966118
5	0,0228155	0,0227939	-0,0946725
6	0,0451057	0,0450764	-0,0650539
7	0,0735072	0,0731243	-0,5209462
8	0,1018369	0,1017404	-0,0947986
9	0,1382406	0,1374574	-0,5665268
10	0,1791090	0,1783918	-0,4004042
11	0,2197424	0,2186368	-0,5031573
12	0,2662753	0,2650026	-0,4779602
13	0,3188638	0,3168057	-0,6454417
14	0,3699569	0,3675866	-0,6406854
15	0,4438381	0,4403717	-0,7810055
16	0,5304838	0,5268543	-0,6841792
17	0,6165403	0,6131650	-0,5474549

FONTE: O autor (2014).

A análise de variância (ANOVA) fator único, foi efetuada e permitiu constatar que não há diferenças significativas entre os volumes para os diferentes métodos para um nível de confiança de 99% (TABELA 6).

TABELA 6- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CÁLCULO VOLUMÉTRICO ENTRE ArcGIS® E ANATRO UFPR

GRUPO	Média	Desvio padrão	F	Valor P
ArcGIS®	0,1964562	0,198394398	0,000282920	0,9866845
ANATRO UFPR	0,1953154	0,197094502		

FONTE: O autor (2014).

Na (FIGURA 38) são mostrados os gráficos do perfil longitudinal obtidos por Rosot (2002), em SIG e pelo ANATRO UFPR, ambos por meio da vetorização completa dos anéis de crescimento.

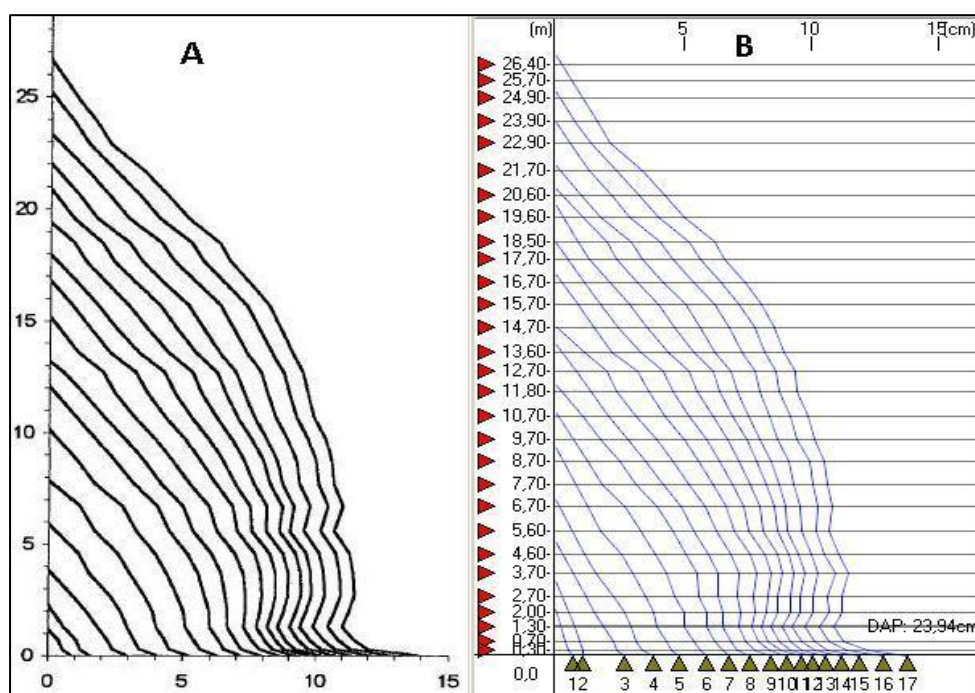


FIGURA 38 - PERFIL LONGITUDINAL DE *Pinus elliottii* POR VETORIZAÇÃO COMPLETA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ArcGIS® (A) E O GERADO PELO ANATRO UFPR (B)

FONTE: O autor (2014).

Ambos os gráficos apresentam similaridades na forma, corroborando com a similaridade encontrada na comparação entre os volumes. Notam-se diferenças quanto às alturas nos primeiros dois anos, devido a diferenças na localização do limite dos anéis. Neste caso, pequenas variações no raio médio, obtido a partir da área transversal, resultam em grandes variações na altura, devido à projeção.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE ÁREA TRANSVERSAL

Foram comparados os métodos de obtenção da área transversal, medição ao longo de quatro raios e medição ao longo de oito raios com o método de vetorização completa dos anéis de crescimento, sendo que este último por ser considerado o mais próximo do real. Utilizaram-se, como amostras, imagens de fatias secas e lixadas de *Pinus taeda*, com nove anos de idade.

Compararam-se, individualmente, imagens de seções transversais coletadas na altura zero (0,0 m) (FIGURA 39), por ser excêntrica e não circular, e na altura 10,80m, por aproximar-se, visualmente, da forma circular e medula cêntrica (FIGURA 40).

Na (FIGURA 39a), medição ao longo de quatro raios, observa-se que as linhas resultantes da vetorização, em azul, tendem a se aproximar da medula, afastando-se da borda dos anéis de crescimento, na região do Maior Raio, resultando em área transversal menor que a área obtida pela vetorização completa (TABELA 7). Isto ocorre pelo deslocamento de 45° em relação ao Maior Raio.

Na (FIGURA 39b), medição ao longo de oito raios, as linhas resultantes da vetorização tenderam a se aproximar das bordas dos anéis de crescimento, por considerar o Maior Raio. Neste procedimento, a área obtida tende a ser superior à área resultante da vetorização completa (TABELA 7).

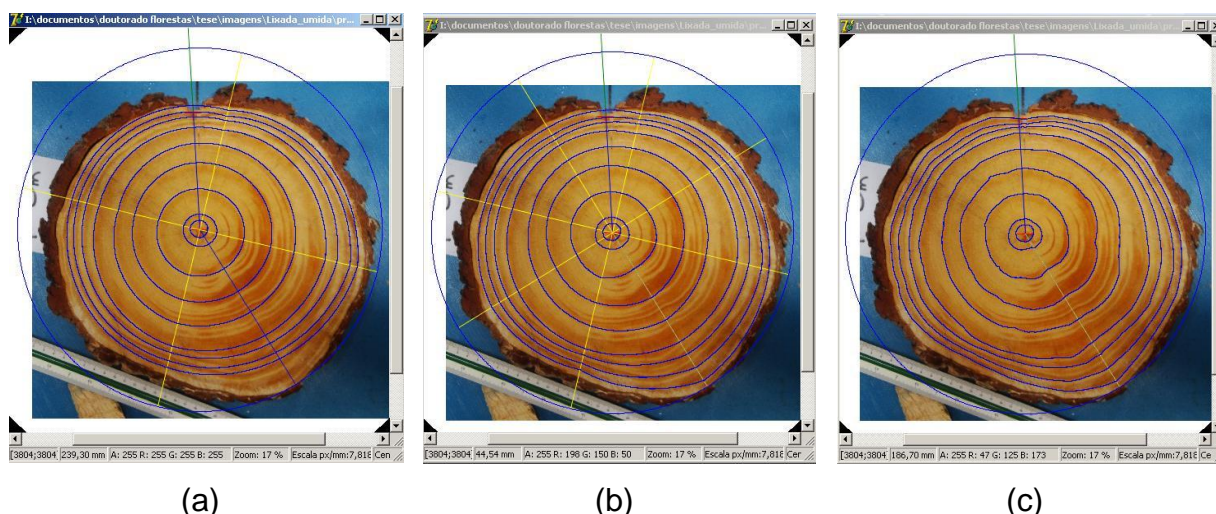


FIGURA 39- IMAGENS VETORIZADAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE FATIA DE *Pinus taeda*, ALTURA DE CORTE 0 m, SECA E LIXADA, MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS (a), MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS (b) E VETORIZAÇÃO MANUAL (c)

FONTE: O autor (2014).

Observa-se na (TABELA 7), que os dados são condizentes com o observado nas imagens da (FIGURA 39). A exceção ocorreu nas áreas transversais referentes às idades de dois e três anos, obtidas pelo método de medição ao longo de quatro raios. Nota-se na (FIGURA 39a), que as intersecções das linhas geradas pela vetorização destes anéis com o Maior Raio, distanciaram-se das bordas dos anéis de crescimento, em direção à casca, devido à deformação atípica (lenhos de tração e compressão), ocorrida no crescimento do lenho, nestes dois anos.

TABELA 7- ÁREA (mm²) DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, de *Pinus taeda*, ALTURA DE CORTE 0,0m, OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA, COM RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS EM RELAÇÃO AO MÉTODO DE VETORIZAÇÃO

IDADE	4 RAIOS Área (mm ²)	8 RAIOS Área (mm ²)	VETORIZAÇÃO Área (mm ²)	4 RAIOS x VETORIZAÇÃO (<> % relativa)	8 RAIOS x VETORIZAÇÃO (<> %relativas)
1	197	203	203	-2,95567	0
2	705	712	691	2,02605	3,039074
3	5.011	4.797	4.751	5,47253	0,968217
4	12.756	12.897	12.880	-0,96273	0,131988
5	21.797	22.157	22.154	-1,61145	0,013542
6	33.969	34.467	34.454	-1,40767	0,037731
7	40.376	41.186	40.825	-1,09982	0,884262
8	46314	47586	47138	-1,74806	0,950401
9	51178	53962	53218	-3,83329	1,398023
média	23589,22	24218,56	24034,89	-1,85425	0,764167

FONTE: O autor (2014).

Na (FIGURA 40) estão imagens de fatia extraídas à altura de 10,80 m. Nota-se que as linhas resultantes das vetorizações, nos três métodos, ficaram visualmente próximas. As diferenças, em relação ao método de vetorização completa manual, ocorreram pelas deformações ocorridas nos anéis de crescimento, conforme pode ser observado na (FIGURA 40c).

Os resultados obtidos na (TABELA 8) corroboram com a observação visual, com diferenças percentuais de -0,64% e 0,43% em relação à vetorização completa, respectivamente à medição ao longo de quatro raios e medição ao longo de oito raios. As diferenças, a exemplo da (TABELA 7), demonstram que a área obtida pelo método de medição ao longo de quatro raios tende a ser menor que a área obtida pelo método de vetorização completa, assim como a área obtida pelo método de

medição ao longo de oito raios tende a ser maior que a área obtida pela vetorização completa.

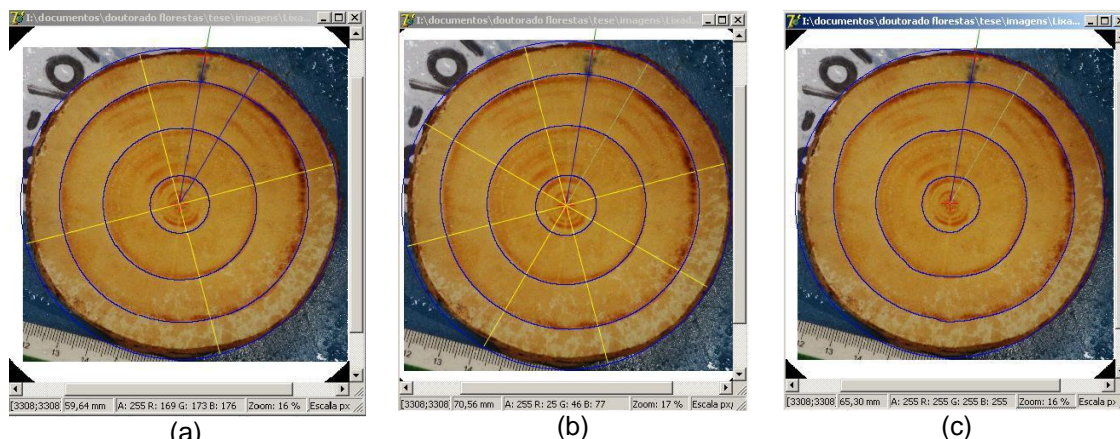


FIGURA 40- IMAGENS VETORIZADAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE FATIA DE *Pinus taeda*, À ALTURA DE 10,80 m, SECA E LIXADA, MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS (a), MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS (b) E VETORIZAÇÃO MANUAL (c)
FONTE: O autor (2014).

TABELA 8- ÁREA (mm²) DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, EM FATIA DE *Pinus taeda*, À ALTURA DE 10,80m, OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA, COM RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS EM RELAÇÃO AO MÉTODO DE VETORIZAÇÃO

IDADE	4 RAIOS (mm ²)	8 RAIOS (mm ²)	VETORIZAÇÃO (mm ²)	4 RAIOS X VETORIZAÇÃO (<> % relativas)	8 RAIOS X VETORIZAÇÃO (<> % relativas)
1	295	295	292	1,02740	1,02740
2	2.029	2.043	2.035	-0,29484	0,39312
3	5.277	5.345	5.323	-0,86417	0,41330
MÉDIA	2.533	2.561	2.550	-0,64052	0,43137

FONTE: O autor (2014).

Na comparação dos métodos, utilizando-se as imagens das seções transversais da árvore, geraram-se os (GRÁFICOS 1 e 2). Neles são apresentadas as diferenças relativas aos raios médios dos anéis de crescimento, obtidas pela comparação dos métodos “medição ao longo de quatro raios X vetorização” e “medição ao longo de oito raios X vetorização”, respectivamente.

Nota-se que as maiores diferenças estão nos raios mais próximos à medula, inferiores à 10 mm. Isso ocorre devido a dificuldade de identificação destes anéis e ao fato de pequenas diferenças nas medições destes raios que resultam em valores relativos maiores nas áreas transversais.

Observa-se, no entanto, no (GRÁFICO 1) que a dispersão é maior em relação ao apresentado no (GRÁFICO 2), ou seja, as diferenças são maiores quando é considerado o método de medição ao longo de quatro raios.

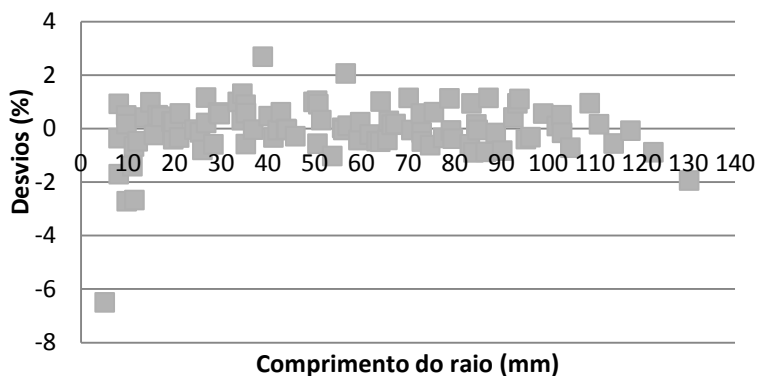


GRÁFICO 1– DESVIOS PERCENTUAIS RELATIVOS ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA PARA *Pinus taeda*, MADEIRA SECA E LIXADA

FONTE: O autor (2014).

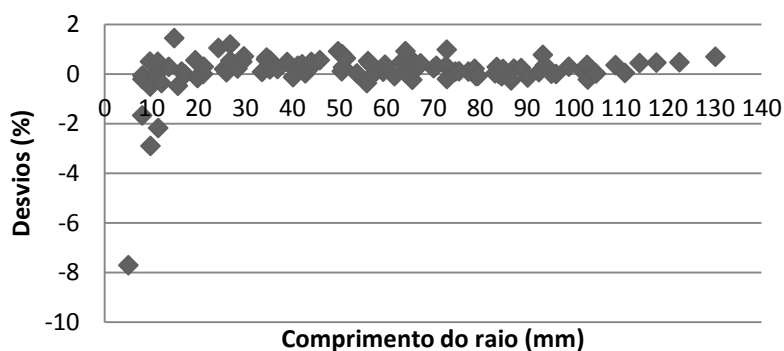


GRÁFICO 2– DESVIOS PERCENTUAIS RELATIVOS ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS E VETORIZAÇÃO COMPLETA PARA *Pinus taeda*, MADEIRA SECA E LIXADA

FONTE: O autor (2014).

Na (TABELA 9) são apresentados dados da estatística descritiva para as diferenças relativas percentuais dos raios médios obtidos pela área transversal, métodos “medição ao longo de quatro raios X vetorização” e “medição ao longo de oito raios X vetorização”. Nota-se que a diferença média foi próxima a zero, -0,0083% para medição ao longo de quatro raios e 0,096 % para a medição ao longo de oito raios, para a árvore, o que denota que as seções transversais são circulares e as medulas cêntricas.

TABELA 9- ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS DIFERENÇAS RELATIVAS PERCENTUAIS, DOS RAIOS MÉDIOS (mm) OBTIDOS PELA ÁREA TRANSVERSAL, ENTRE OS MÉTODOS MEDIÇÃO AO LONGO DE QUATRO RAIOS, MEDIÇÃO AO LONGO DE OITO RAIOS EM RELAÇÃO À VETORIZAÇÃO

Métodos	Contagem	Média	Desvio padrão	variância	mínimo	máximo	Nível de confiança (1%)
Medição ao longo de quatro raios X vetorização	100	-0,00826	1,0565	1,1162	-6,4932	2,6952	0,001328
Medição ao longo de oito raios X vetorização	100	0,095883	0,9667	0,9345	-7,7070	1,4467	0,001215

FONTE: O autor (2014).

Os resultados observados corroboram com Rosot (2002), em que as áreas transversais obtidas por meio dos métodos de medição ao longo de quatro raios, medição ao longo de oito raios e vetorização completa tendem a se aproximar tanto quanto mais próximos ao formato circular forem as fatias e mais central forem as medulas.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE MADEIRA VERDE E MADEIRA SECA

As imagens resultantes das fotos digitais da madeira seca e lixada, após transporte ao laboratório, foram empregadas no ANATRO UFPR à semelhança das imagens das fatias verdes. Em ambos os casos, utilizou-se o método de vetorização completa dos anéis de crescimento por ser considerado o mais preciso.

Nas (TABELAS 10 e 11) são apresentadas as variáveis dendrométricas obtidas da *Planilha de variáveis dendrométricas* do ANATRO UFPR, das amostras de madeira verde e de madeira seca e lixada, respectivamente. Nota-se que o número de anéis identificados nas duas séries de dados foi idêntico (nove).

Os volumes por idade (TABELA 12), estimados a partir das séries de dados da madeira verde e da madeira seca, possuem diferença média percentual absoluta de 7,91%, sendo que as diferenças diminuem com o aumento da idade, ou seja, com o aumento do volume (GRÁFICO 3). As duas séries de dados, apresentam uma correlação de Pearson “p” de 0,9999, ou seja, apresentam forte correlação positiva, sendo que $p=1$ significa uma correlação perfeita e positiva entre as duas variáveis.

TABELA 10 – TABELA DE PRODUÇÃO GERADA PELO ANATRO UFPR REFERENTE A MADEIRA VERDE VETORIZADA

Idade (Anos)	DAP cm	ICAdap	IMADap	g m2	ICAg	IMAg	h m	ICAh	IMAh	Volume m3	ICAv	IMAv	FF	FFH
1	0	0	0	0	0	0	1,15605970	1,156059700	1,156059700	0,000070333	0,000070333	0,000070333	0,000000000	0,415118370
2	0	0	0	0	0	0	1,76616300	0,610103250	0,883081500	0,000391841	0,000321508	0,000195920	0,000000000	0,404570580
3	5,36290310	5,3629031	1,787634400	0,002258863	0,002258863	0,000752954	4,57027440	2,804111400	1,523424800	0,006177110	0,005785270	0,002059037	0,598347190	0,419333990
4	9,13218400	3,7692809	2,283046000	0,006549968	0,004291105	0,001637492	6,03261420	1,462339900	1,508153600	0,022812616	0,016635506	0,005703154	0,577338280	0,442133900
5	12,36184800	3,2296638	2,472369600	0,012002083	0,005452116	0,002400417	8,03579520	2,003181000	1,607159000	0,049427316	0,026614700	0,009885463	0,512485440	0,449683520
6	16,08201200	3,7201643	2,680335400	0,020312842	0,008310759	0,003385474	10,22476700	2,188971500	1,704127800	0,086618244	0,037190928	0,014436374	0,488493710	0,459349600
7	18,30096400	2,2189522	2,614423500	0,026304971	0,005992129	0,003757853	11,80009500	1,575327900	1,685727800	0,149224400	0,047767155	0,021317772	0,480746950	0,471307400
8	19,79811500	1,4971504	2,474764300	0,030784886	0,004479915	0,003848111	13,72013600	1,920041100	1,715017000	0,197716010	0,048491612	0,024714501	0,468107820	0,472595450
9	20,96714200	1,1690273	2,329682500	0,034527753	0,003742866	0,003836417	15,14065200	1,420516000	1,682294600	0,249834780	0,052118763	0,027759420	0,477903220	0,489965290

FONTE: O autor (2014).

TABELA 11 – TABELA DE PRODUÇÃO GERADA PELO ANATRO UFPR REFERENTE A MADEIRA SECA VETORIZADA

Idade (Anos)	DAP cm	ICAdap	IMADap	g m2	ICAg	IMAg	h m	ICAh	IMAh	Volume m3	ICAv	IMAv	FF	FFH
1	0	0	0	0	0	0	0,805232640	0,805232640	0,805232640	0,000056021	0,000056021	0,000056021	0,000000000	0,422163190
2	0	0	0	0	0	0	1,667773400	0,862540720	0,833886680	0,000349890	0,000293870	0,000174945	0,000000000	0,402591760
3	4,8488040	4,8488040	1,6162680	0,001846542	0,001846542	0,000615514	4,159126800	2,491353400	1,386375600	0,005638314	0,005288423	0,001879438	0,734155240	0,413132910
4	8,78377060	3,9349666	2,1959426	0,006059710	0,004213169	0,001514928	6,324807200	2,165680400	1,581201800	0,020974537	0,015336224	0,005243634	0,547259390	0,409433100
5	11,9497850	3,1660147	2,3899570	0,011215280	0,005155569	0,002243056	7,771595500	1,446788300	1,554319100	0,046314545	0,025340008	0,009262909	0,531370040	0,447934210
6	15,5041400	3,5543547	2,5840233	0,018879272	0,007663992	0,003146545	10,031367000	2,259771800	1,671894600	0,096597336	0,050282791	0,016099556	0,510058280	0,465267870
7	17,7495020	2,2453623	2,5356432	0,024743563	0,005864291	0,003534795	11,655615000	1,624247600	1,665087800	0,142816290	0,046218954	0,020402327	0,495199560	0,479432580
8	19,2381570	1,4886551	2,4047697	0,029068112	0,004324550	0,003633514	13,476412000	1,820797000	1,684551500	0,189676000	0,046859711	0,023709500	0,484196100	0,486153840
9	20,3663900	1,1282330	2,2629322	0,032577515	0,003509402	0,003619724	15,264281000	1,787869500	1,696031300	0,239902440	0,050226435	0,026655826	0,482436660	0,489460740

FONTE: O autor (2014).

TABELA 12- VOLUMES POR IDADES ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DO ANATRO UFPR

Idade (Anos)	VOLUME TOTAL SEM CASCA (m ³)		Diferença %
	VERDE	SECA	
1	0,0000703	0,0000560	-20,3489
2	0,0003918	0,0003499	-10,7059
3	0,0061771	0,0056383	-8,72247
4	0,0228126	0,0209745	-8,05729
5	0,0494273	0,0463145	-6,29767
6	0,0866182	0,0820940	-4,79011
7	0,1492244	0,1428163	-4,29428
8	0,1977160	0,1896760	-4,06644
9	0,2498348	0,2399024	-3,97556

FONTE: O autor (2014).

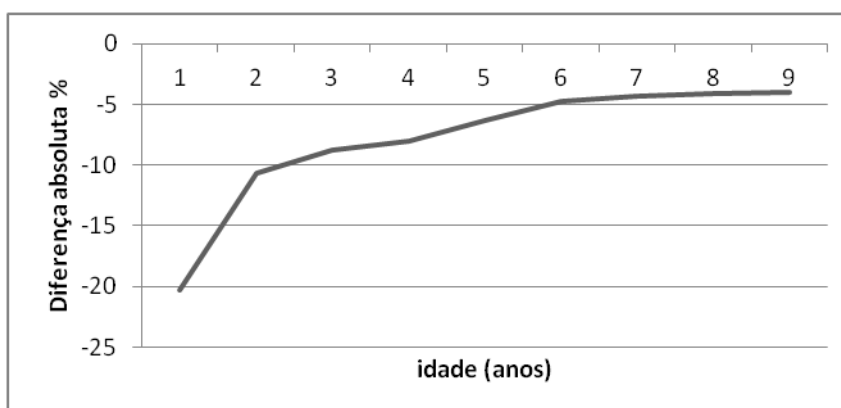


GRÁFICO 3- CURVA DE DIFERENÇA ABSOLUTA PERCENTUAL DOS VOLUMES DA MADEIRA SECA EM RELAÇÃO À MADEIRA VERDE

FONTE: O autor (2014).

Observam-se diferenças no perfil das amostras geradas pelo ANATRO UFPR para madeira seca (FIGURA 41a) e verde (FIGURA 41b), principalmente na altura de 4,30 m. Estas diferenças podem ser explicadas pela contração no processo de secagem da madeira, resultando na diminuição do volume das peças.

Consequentemente, o processo de secagem resultou também na variação da estimativa das alturas por idade, conforme se observa na (FIGURA 41).

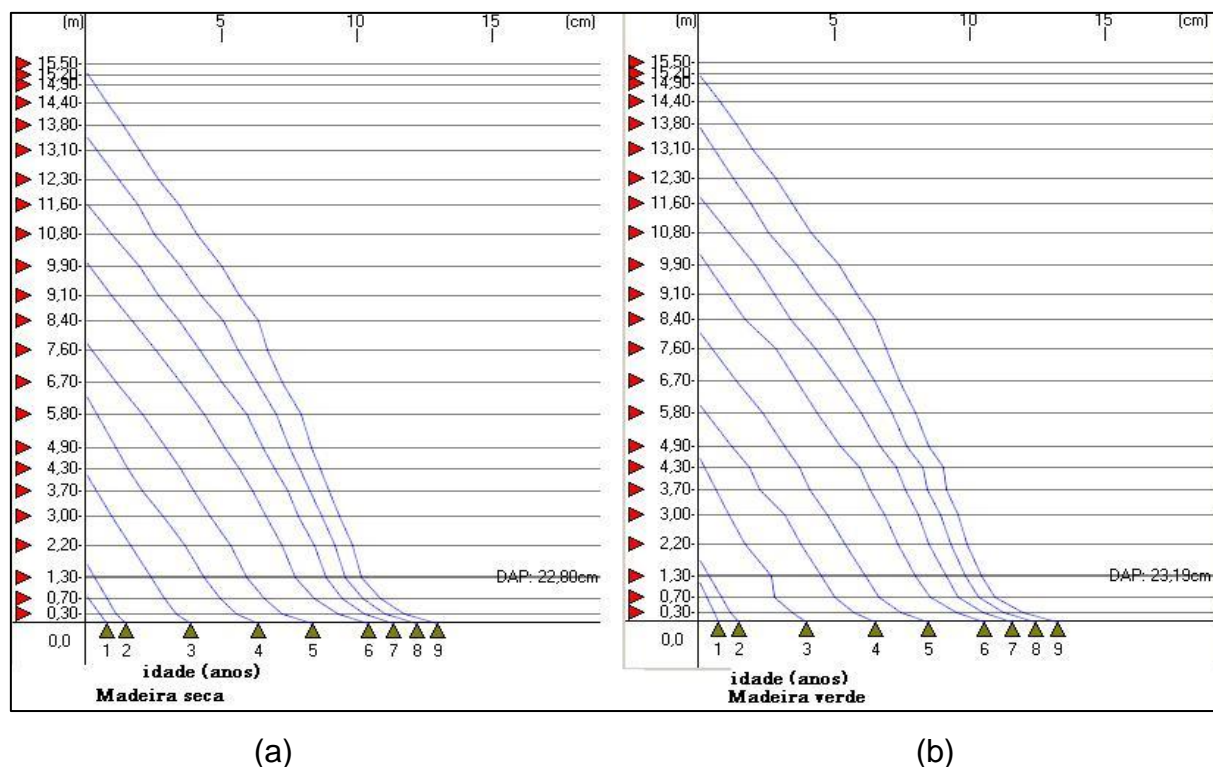


FIGURA 41 – PERFIS DE ÁRVORE GERADOS PELO ANATRO UFPR DA MADEIRA SECA (a) E MADEIRA VERDE (b)
 FONTE: O autor (2014).

As maiores diferenças ocorreram nos anéis cujos diâmetros são menores que sete cm (GRÁFICO 4).

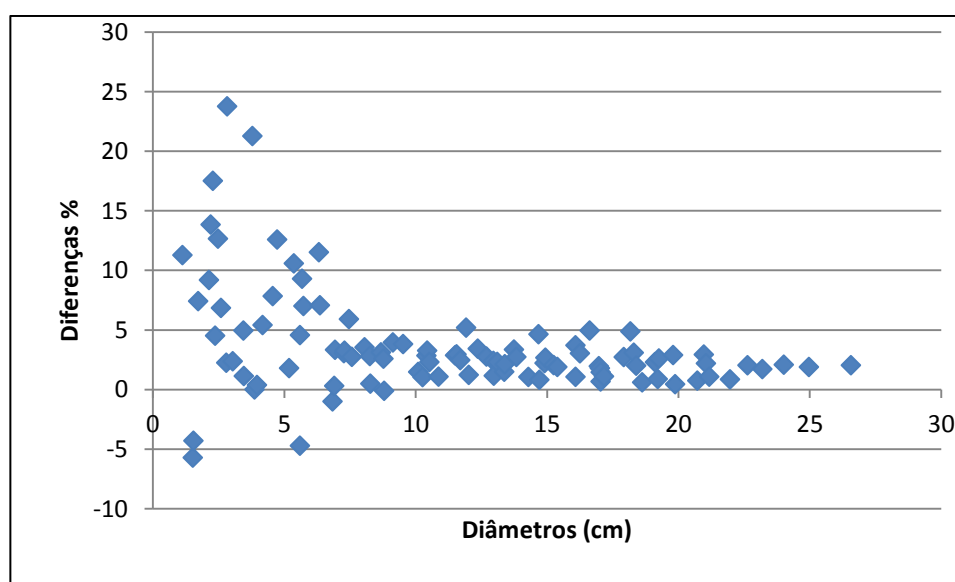


GRÁFICO 4- DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE OS DIÂMETROS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO - RELAÇÃO MADEIRA VERDE/MADEIRA SECA
 FONTE: O autor (2014).

A variação no volume pode ser observada no (GRÁFICO 5), nas curvas de crescimento definidas pelo Incremento Corrente Anual – ICA e pelo Incremento Médio Anual (IMA) volumétrico, para a madeira verde e madeira seca.

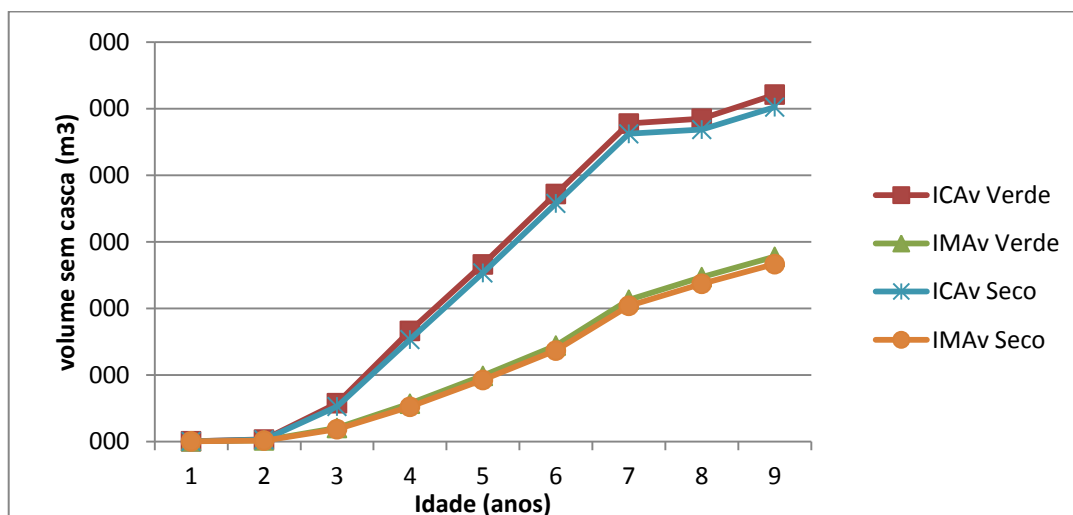


GRÁFICO 5– INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA_v) E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA_v) EM VOLUME DE MADEIRA VERDE E MADEIRA SECA DE UMA ÁRVORE DE *Pinus taeda*

FONTE: O autor (2014).

4.7 UTILIZAÇÃO DO ANATRO UFPR EM OUTRAS ESPÉCIES

O projeto utilizando a *Araucaria angustifolia* resultou em 16 imagens de seções transversais que foram tomadas em campo logo após o corte, as quais apresentaram anéis de crescimento nítidos.

Observou-se, também, que o perfil das seções transversais do fuste aproximava-se de um círculo (APÊNDICE 3), o que levou à opção pelo método de medição ao longo de oito raios, para a realização da ANATRO, para economia de tempo em relação à vetorização completa.

A (FIGURA 42) apresenta a fotografia digital da seção transversal tomada à altura do DAP (1,30m), logo após o corte. Observa-se a nitidez dos anéis de crescimento e da medula, o que resultou na facilidade do reconhecimento dos anéis de crescimento no ANATRO UFPR pelo operador.



FIGURA 42 – FOTOGRAFIA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO RECÉM CORTADA DE *Araucaria angustifolia*, À ALTURA DO DAP
FONTE: O autor (2014).

O processamento destas imagens, no ANATRO UFPR, com o cálculo da área transversal pelo método de medição ao longo de oito raios, resultou no *Gráfico do Perfil Longitudinal* (FIGURA 43) e na *Tabela de Variáveis Dendrométricas* (TABELA 13).

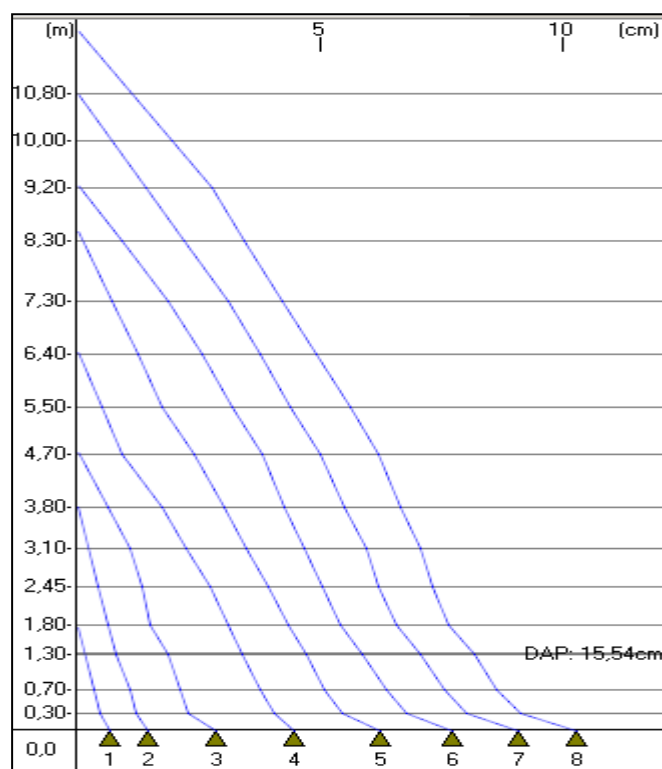


FIGURA 43– PERFIL LONGITUDINAL DO FUSTE DE *Araucaria angustifolia* –
RAIO MÉDIO (cm)
FONTE: O autor (2014).

Com os dados obtidos (TABELA 13), verifica-se que o ICA_{DAP} desta árvore, teve média de $2,35 \pm 0,49$ cm e que esta não se encontrava em processo de competição, conforme observado no (GRÁFICO 6).

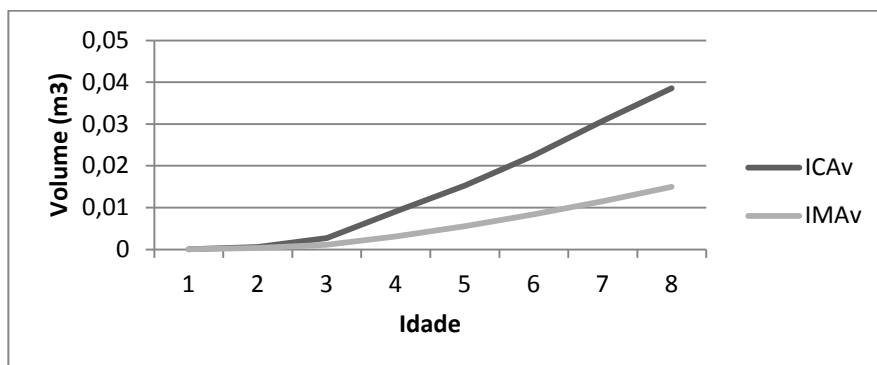


GRÁFICO 6– CURVA DE ICA E IMA DE ÁRVORE DE *Araucaria angustifolia*.
FONTE: O autor (2014).

O resultado obtido com esta espécie indica que é factível a Análise de Tronco Digital utilizando o ANATRO UFPR, com madeira Verde.

TABELA 13 – TABELA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia* – MADEIRA VERDE, COM OITO ANOS DE IDADE.

Idade (Anos)	Árv/ha	DAP cm	ICAdap	IMADap	g m2	ICAg	IMAg	h m	ICAh	IMAh	Volume m3	ICAv	IMAv	FF	FFH
1	1	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000	1,7736610	1,7736610	1,7736610	0,000067957	0,000067957	0,000067957	0,000000000	0,39296883
2	1	1,6012814	1,6012814	0,8006407	0,000201384	0,000201384	0,000100692	3,8273222	2,0536612	1,9136611	0,000685508	0,000617550	0,000342754	0,889389570	0,40421611
3	1	3,7288845	2,1276031	1,2429615	0,001092063	0,000890679	0,000364021	4,7362080	0,9088857	1,5787360	0,003400433	0,002714926	0,001133478	0,657439410	0,46343130
4	1	6,8049498	3,0760653	1,7012374	0,003636970	0,002544907	0,000909243	6,4434605	1,7072525	1,6108651	0,012474195	0,009073762	0,003118549	0,532296540	0,42055264
5	1	9,4727049	2,6677551	1,8945410	0,007047546	0,003410575	0,001409509	8,4864473	2,0429869	1,6972895	0,027789738	0,015315543	0,005557948	0,464644280	0,41338632
6	1	11,7683170	2,2956123	1,9613862	0,010877239	0,003829693	0,001812873	9,2619381	0,7754907	1,5436563	0,050264619	0,022474881	0,008377437	0,498932600	0,44929016
7	1	14,2359670	2,4676495	2,0337095	0,015917096	0,005039858	0,002273871	10,8133180	1,5513802	1,5447598	0,081033871	0,030769251	0,011576267	0,470808000	0,44845012
8	1	16,4662700	2,2303038	2,0582838	0,021295134	0,005378038	0,002661892	11,8854470	1,0721283	1,4856808	0,119627190	0,038593315	0,014953398	0,472643880	0,46363953

FONTE: O autor (2014)

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) o ANATRO UFPR, como *software* para a Análise de Tronco, utilizando imagens digitais com o uso de processamento digital de imagens, possibilita a execução da Análise de Tronco Completa, de forma eficiente e mais rápida do que a ANATRO convencional ou tradicional;
- b) a utilização de imagens digitais, tomadas diretamente na floresta, de árvores recém cortadas de espécies de coníferas como *Pinus spp* e *Araucaria angustifolia*, possibilita a realização da Análise de Tronco Completa, resultando em redução de tempo e custos para a obtenção dos resultados, evitando-se as atividades de transporte, secagem e lixamento das fatias;
- c) o método de cálculo de área, utilizando sistema polar e contagem de *pixels* em polígonos, é eficaz para o cálculo de áreas transversais;
- d) o método de vetorização completa é o mais preciso entre os métodos disponibilizados pelo ANATRO UFPR. Embora mais trabalhoso, é o mais adequado para qualquer situação;
- e) a comparação com os resultados obtidos por Rosot (2002), com a vetorização por SIG, validam a acurácia do ANATRO UFPR.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como o *software* ANATRO UFPR foi escrito na linguagem Embarcadero Delphi7, recomenda-se reescrever os algoritmos em uma linguagem de programação livre, como por exemplo, a linguagem JAVA, da empresa ORACLE®, que permite também a utilização em outras plataformas.

A implementação de procedimentos de pré-processamento, como o ajuste automático de brilho e contraste, facilitará a operação do sistema no ANATRO UFPR, evitando-se o uso de outros *softwares*.

REFERÊNCIAS

- BARUSSO, A.P. **Determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. Curitiba, 1977. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Não defendida.
- BOTOSSO, P.C.; MATTOS, P.P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicações**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002.
- BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. **Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia**: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais**: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, p. 145-17, 2001.
- BUSCHMANN, F. *et al.* **Pattern-Oriented Software Architecture: A System of Patterns**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2003.
- BURGER, M. L., RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo. Editora NOBEL 1991, ISBN 85-213-0669-5 pag. 15 a 22
- CARDOSO, N.S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L.) – Verbenaceae**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Coletânea de Anatomia da Madeira, 2001. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlando/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>. Acesso em: 15/2/2012.
- DEVIJVER, P. **PATTERN RECOGNITION: A Statistical Approach**. Londres: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.
- ENCINAS, J.I.; SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. Idade e crescimento das árvores. Brasília: **Comunicações Técnicas Florestais**, v.7, n.1, 2005.
- FAHN, A. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Madrid: H. Blume, 1974. 643p.
- FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação do crescimento da Teca (*Tectona grandis* L. F.) pela análise de tronco**. EMBRAPA: Instruções Técnicas, nº. 35, jun/2001, p. 1-4.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos da Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CPEF/FATEC, 1992. 269 p.

GOMES A.M.A. **Medição dos árvoredos**. Lisboa:Livraria Sá da Costa,1957, 413 p.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Digital Image Processing**. Addison - Wesley, 1992.

Graphics32.org, 2014. Disponível em <<http://graphics32.org/wiki/Main/Graphics32>> Acesso em: 30/12/2012.

GRISSINO-MAYER, H. **Principles of Dendrochronology**. Disponível em <<http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm>>. Acesso em: 25/11/2012

GT MONITORAMENTO, 2004, **Diretrizes Simplificadas para Instalação e Medição de Parcelas Permanentes em Florestas Naturais da Amazônia Brasileira**. Manaus, AM, Disponível em <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/sispp/Miolo%20Diretrizes%20Simplificadas.pdf>> Acesso em: 09/11/2012.

HERMAN, F.R.; DEMARS, D. J.; WOOLLARD, R. F. **Field and computer techniques for stem analysis of coniferous forest trees**. USDA. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1975.51 p. (Research Paper PNW-194).

HUSCH, B.; MILLER, C.I; BEERS, T, W, **Forest mensuration**. New York : Ronald Press Co, 1982, 410p.

IBÁ, **ibá Indústria Brasileira de Árvores** – 2014. Disponível em <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 10/10/2014.

INPE. **Teoria: Processamento de imagens**. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/realce/realce.htm>>. Acesso em: 23/05/2013.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of Microscopic Features for Hardwood Identification. **IAWA Bulletin**, V.10. N.3. p.219-332.1989

JÄHNE, B.; HAUSSECKER ,H. **Computer vision and applications: a guide for students and practitioners**. 2 ed. San Diego, USA: Academic press, 2000.

JORGE, L. A. de C.; SILVA, D. J. da C. B.. Anatro Livre: manual de utilização. Infoteca EMBRAPA. 2009. Disponível em <https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/658948/anatro-livre-manual-de-utilizacao>. Acesso em 10/03/2011.

KOZLOWSKI T.T; PALLARDY, S.G. 1997. **Growth Control in Woody Plants**, Academic Press, San Diego, CA, pp 14-72

KUBIÇA, S; LETHELIER, E. **Processamento de imagens de documentos – parte III**. Celepar. Disponível em: <http://www.batebyte.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1277>> Acesso em: 16/06/2012.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, Y.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998, 540p

LARSON, P.R. **The Vascular Cambium**: development and structure. Berlin: Springer-Verlag, 1994, 725p.

LIMA, J.J.P, **Técnicas de Diagnóstico com raios X – Aspectos Físicos e Biofísicos**. 2ª. Edição. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra (PT), 2009.

MACHADO, S.A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* plantations in the State of Paraná - Brazil**. Seattle, 1978. 170 f. Thesis (Ph D) – University of Washington.

MACHADO, S.A.; SILVA, L.C.R; JASKIU, E.C, Ricardo. **Comparação entre análise de tronco digital e convencional em árvores de *Mimosa scabrella* bentham e *Pinus taeda* L.** Rev. Árvore [online]. 2013, vol.37, n.2, pp. 329-337.

MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Curitiba: Unicentro, 2009. 316 p.

MMA, **Manejo florestal sustentável**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 12/10/2014

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital e Imagens** Brasport. Rio de Janeiro., 1999.

NEVES, S.C.M.; PELAES, E.G. **Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens**. Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA vol1. No. 2, julho 2001, pag 1 de 11. Disponível em: http://www.ufpa.br/rcientifica/ed_anteriores/pdf/ed_02_scmn.pdf. Acesso em: 14/03/2013

NUTTO, L.; Machado S.A.; Silva, L.C.R. Comparação de Metodologias para Medição de Anéis de Crescimento de *Mimosa scabrella* e *Pinus taeda* **Sci. For.** Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 135-144, jun. 2012

OLIVEIRA, J.M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. Tese de doutorado. UFRGS, 2007. Disponível em: http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Theses&Dissertations/OliveiraJulianoM_2007_DoctorThesis.pdf Acesso em: 13/03/2012.

ÖSTERBERG, P.; IHALAINEN, H; RITALA, R. Measurement of wood quality parameters from annual rings using color analysis with digital images. In: **IMEKO WORLD CONGRESS** - Metrology for a Sustainable Development, XVIII, 2006, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em <http://www.imeko.org/publications/wc-2006/PWC-2006-TC14-042u.pdf>. Acesso em 20/08/2010.

PRODAN, M. *et al.* **Mensura forestal**. San Jose: IICA, 1997. 561p. (Investigacion y educacion em desarrollo sostenible)

RIGOZO, N. R.; ECHER, M. P. S.; NORDEMANN, D. J. R.; ECHER, E.; PRESTES, A.; SILVA, H. E. Tratamento Iterativo de Imagens Digitais de Anéis de Árvores - TIIDAA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6083-6089. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16508-PRE/11084). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.24.16.48>. Acesso em: 10 ago.2012.

ROSOT, N.C.; EMERENCIANO, D.B.; ROSOT, M.A.D. *Yield table for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. plantations by stem analysis in Southern Brazil*. In: VANCLAY, J. K; SKOVSGAARD, J. P.; GERTNER, G. Z. (Ed.). **Growth and yield estimation from sucessive forest inventories**: proceedings from The IUFRO Conference... Lyngby: Danish Forest and Landscape Research Institute, 1993. p. 239-249. (Forkningsserien, 3).

ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D.B.; ROSOT, M.A.D. Tabela de produção para povoamentos de *Pinus pátula* através de análise de tronco para a Região de Manica - Moçambique. **Floresta**, Curitiba, v. 22, n. 1-2, p. 3-12, 1995.

ROSOT, M. A. D. **Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco**. UFPR, Curitiba, 2002. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 2002.

ROSOT, M.A.D. *et al.* Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. **Floresta**, v.33, n.3, p.235-255, 2003

RUMBAUGH, J *et al.* **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Tradução de Dalton Conde de Alencar . Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1996, 650 p.

SANQUETTA, C.R.; *et al.* **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2ª Ed. Curitiba –PR, Multi-Graphic e Editora, 2009. 316 p.

SILVA, J.A.A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. UFPE, 1979. 191p. Disponível em:
<http://www.arvorelab.ufam.edu.br/usc/library/PrincipiosDendrometria.pdf>. Acesso em: 13/10/2012.

Soille,P.;Misson,L. **Tree ring area measurements using morphological image analysis**. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31(6): 1074-1083, 10.1139/x01-025.

SOUZA, J.S.; CARDOZA, J.A.S. Sensores de Imagens Digitais CCD e CMOS. In: VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. **Anais** Palmas TO. 2012.

SOUZA, L. A. Morfologia e Anatomia Vegetal. Ponta Grossa: UEPG, 2003.

STOKES, M.A.; SMILEY, T.L. 1968. **An Introduction to Tree-Ring Dating**. Arizona: The University of Arizona Press.

THOME, A.G. **Processamento de Imagens – Segmentação**. UFRJ, IM/DCC &NCE, Disponível em:
<http://equipe.nce.ufrj.br/thome/p_grad/nn_img/transp/c5_segmentacao.pdf>. Acesso em: 04/05/2013.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISE, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento em árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELA, W. (Org.). **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC. p. 117-143, 2001.

UFRA. **Manual para produção de madeira na Amazônia**. Pag 66. Disponível em: <http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_OPERA%C3%87%C3%83O%20%20CORTE%20%20DE%20%C3%81RVORES.pdf>. Acesso em: 03/01/2014.

VIEIRA, E.L. *et al.* **Manual de Fisiologia**. São Luiz: EDUFMA, 2010. 230p.

WANG, X.; ALBREGTSEN, F.; FOYN, B. Grey Level Gap Length Matrix: A New Approach for Texture Analysis. In: ICARV'94, 3, 1994, Singapura.

XINLI, W.; FOYN, B.; ALBREGTSEN, F.; An automatic tree ring measurement system. In: MVA'94 IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 1994, Kawasak, **Anais**, 1994, Kawasak, p. 13-15.

ZAMIN, N T, **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZHENG, S.; MOLINA, C. G. Measuring tree-ring parameters using the generalised Fisher ratio. In: **Eusipco: European signal processing conference**. 1998. p. 2213-2216.

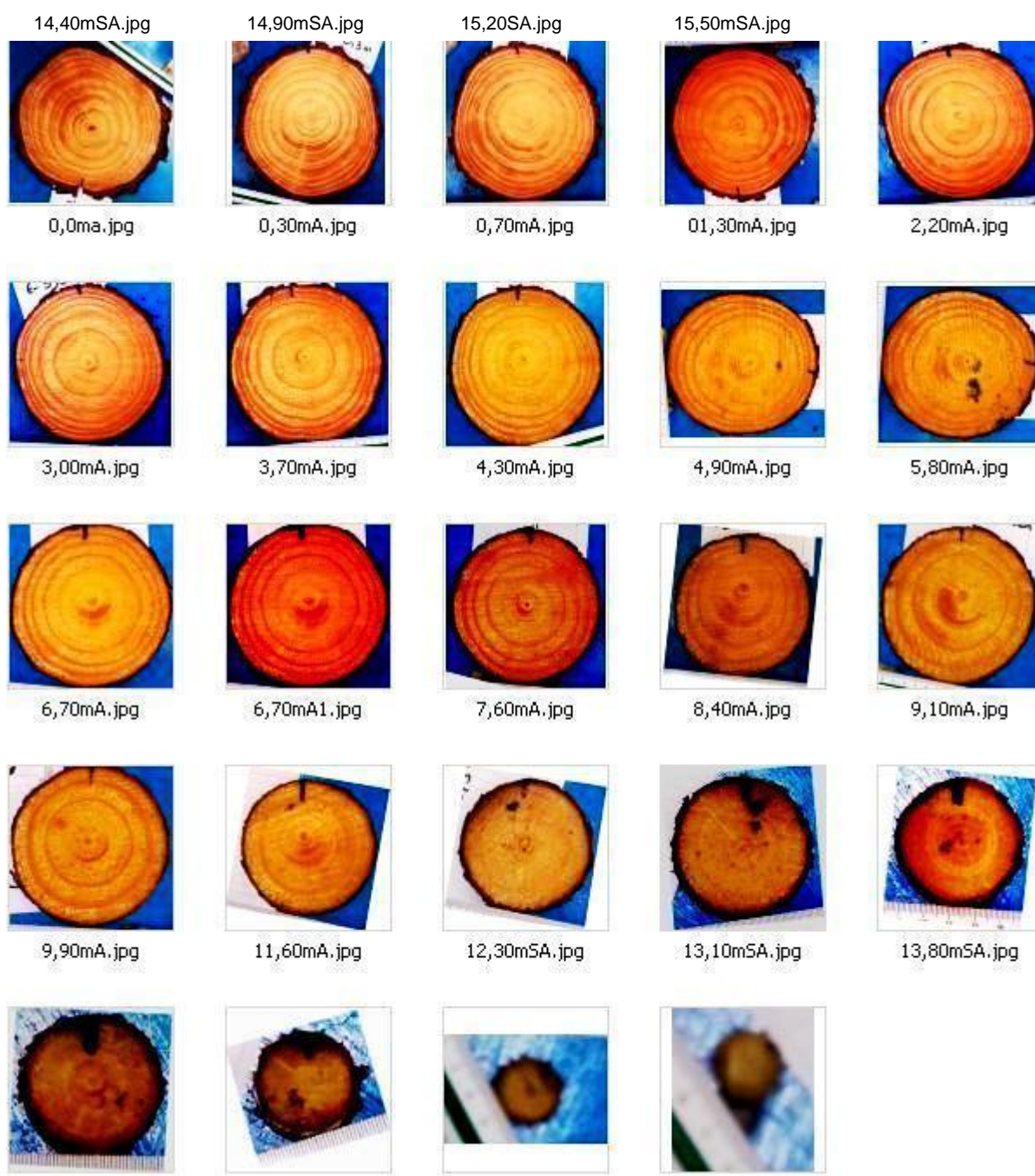
ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C.T. **Identificação botânica de madeiras**. Apostila de curso oferecido pelo Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT, 2007

Zhou, H., Feng, R., Huang, H. H., Lin, E.-P., Yu, J.-L., 2012: **Method of tree-ring image analysis for dendrochronology**. Optical Engineering 51(7): 077202-1–077202-7.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 –	IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO <i>Pinus taeda</i> RECÉM CORTADO.....	115
APÊNDICE 2 –	IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO <i>Pinus taeda</i> seco	116
APÊNDICE 3 –	IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO <i>Araucaria angustifolia</i> RECÉM CORTADO	117
APÊNDICE 4	FORMULÁRIO PARA REGISTRO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DE TRONCO COLETADAS NO CAMPO	118

APÊNDICE 1- IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO *Pinus taeda* RECÉM CORTADO



APÊNDICE 2- IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO *Pinus taeda* SECO



0,0m.JPG



0,30mU.JPG



0,70mU.JPG



1,30mU.JPG



2,20mU.JPG



3,00mU.JPG



3,70mU.JPG



4,30mU.JPG



4,90mU.JPG



5,80mU.JPG



6,70mU.JPG



7,60mU.JPG



8,40mU.JPG



9,10mU.JPG



9,90mU.JPG



10,80mU.JPG



11,60mL.JPG



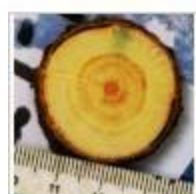
12,30mU.JPG



13,10mU.JPG



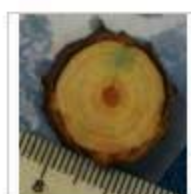
13,80mU.JPG



14,40mL.JPG



14,90mL.JPG

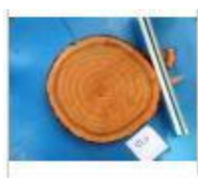


15,20mL.JPG



15,50mL.JPG

APÊNDICE 3- IMAGENS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRONCO
Araucaria angustifolia RECÉM CORTADO



img0.JPG



img030.JPG



img070.JPG



img130.JPG



img180.JPG



img245.JPG



img310.JPG



img380.JPG



img470.JPG



img550.JPG



img640.JPG



img730.JPG



img830.JPG



img920.JPG



img1000.JPG



img1080.JPG

APÊNDICE 4- FORMULÁRIO PARA REGISTRO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DE TRONCO COLETADAS NO CAMPO

Coleta de fatias no campo

Local: Rio Negro Data: 07/11/11

Espécie: Anacardium Idade:

Arvore Nº							
DAP (CAP) (cm)	64						
Alt. Total	11,35						
Alt. Fatia 01 (m)	0,0						
Alt. Fatia 02 (m)	0,30						
Alt. Fatia 03 (m)	0,70						
Alt. Fatia 04 (m)	1,30						
Alt. Fatia 05 (m)	1,80						
Alt. Fatia 06 (m)	2,45						
Alt. Fatia 07 (m)	3,10						
Alt. Fatia 08 (m)	3,80						
Alt. Fatia 09 (m)	4,70						
Alt. Fatia 10 (m)	5,50						
Alt. Fatia 11 (m)	6,40						
Alt. Fatia 12 (m)	7,30						
Alt. Fatia 13 (m)	8,30						
Alt. Fatia 14 (m)	9,20						
Alt. Fatia 15 (m)	10,00						
Alt. Fatia 16 (m)	10,80						
Alt. Fatia 17 (m)							
Alt. Fatia 18 (m)							

Obs: Após a fatia 04 (1,30 m) coletar fatias entre os verticilos e anotar a altura onde a fatia foi n
Se não houver cicatriz do verticilo, retirar as fatias de 1 em 1 metro

ANEXO

MODELO DE FICHA DE CAMPO PARA MONITORAMENTO DE PARCELAS PERMANENTES

DADOS DA INSTITUIÇÃO	
Técnico responsável pelas parcelas	
Endereço	
Telefone	
Email	
DADOS DA ÁREA	
Estado	
Município	
Nome da Localidade	
Latitude	
Longitude	
Tipologia florestal	
Precipitação média anual	
Precipitação média mensal no período seco	
Precipitação média mensal no período chuvoso	
Meses do período seco	
Meses do período Chuvoso	
Tipos de solo	
Relevo	
DADOS DA PARCELA	
Área da parcela padrão	
Área da subparcela padrão	
Dimensões da parcela	
Número de medições	
Anos de medições de parcelas	
VARIÁVEIS MEDIDAS	
DAP mínimo das árvores	Sim() Não()
Mortalidade	Sim() Não()
Classe de identificação do fuste (CIF)	Sim() Não()
Iluminação da copa	Sim() Não()
Coordenadas cartesianas	Sim() Não()
Histórico de uso da floresta	
Observações	

FONTE: Grupo Inter-Institucional de Monitoramento da Dinâmica de Crescimento de Florestas na Amazônia Brasileira – GT Monitoramento (2004).

MODELO DE FICHA DE CAMPO PARA MONITORAMENTO DE PARCELAS PERMANENTES

ÁREA	ANO DA MEDIÇÃO	PARCELA	SUBPARCELA			
Identificador	Responsável	Data	Data			
No. Árvore	Código	Espécie	CIF	DAP/CAP	Mudou PDM	IC
		Nome Comum				

FONTE: GT MONITORAMENTO (2004).

onde:

CIF - Classe de identificação do Fuste: descreve os diversos estados em que podem ser encontradas as árvores em uma floresta, conforme o QUADRO 1, a seguir:

SITUAÇÃO	COMPLETA	DESCOPADA (SEM COPA)	
		FUSTE > 4,0 M	FUSTE < 4,0 M
Árvore viva em pé	1	2	3
Árvore viva caída		4	
Árvore morta por causa natural		5	
Árvore morta por exploração		6	
Árvore morta por tratamento		7	
Árvore colhida (toco de exploração)		8	
Não encontrada		9	

QUADRO - CÓDIGOS USADOS PARA AS CLASSES DE IDENTIFICAÇÃO DO FUSTE DE ÁRVORES (BASEADO EM SILVA E LOPES, 1984)

FONTE: GT MONITORAMENTO (2004)

IC – Iluminação da Copa: descreve a quantidade de luz recebida pelas copas, assim como o grau de competição existente entre as árvores vizinhas; somente as árvores vivas e em pé (completas ou quebradas) são consideradas. São consideradas três categorias:

0 – Sem condições de medição (árvore sem copa);

1 – Copa emergente ou completamente iluminada;

2 – Copa parcialmente iluminada, ou seja, parcialmente coberta por copas de árvores vizinhas;

3 – Copa completamente coberta por copas de árvores vizinhas, recebendo apenas luz lateral ou luz difusa.

PDM: Ponto de Medição do diâmetro da árvore, preferencialmente a 1,3 m do solo (DAP) ou situado acima de anormalidades como sapopema.